DISEÑO Y FABRICACION ASISTIDOS POR COMPUTADOR

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

DISEÑO Y FABRICACION ASISTIDOS POR COMPUTADOR



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

Autor de este libro:
Antonio Martínez Velasco

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-872-X (Vol. 59)
D. L.: B. 41868-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Diseño y fabricación asistidos por computador

¿QUE ES EL CAD/CAM?

Es muy posible que hasta que el lector no se haya introducido en este libro no pueda formarse una idea total de lo que es el CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).

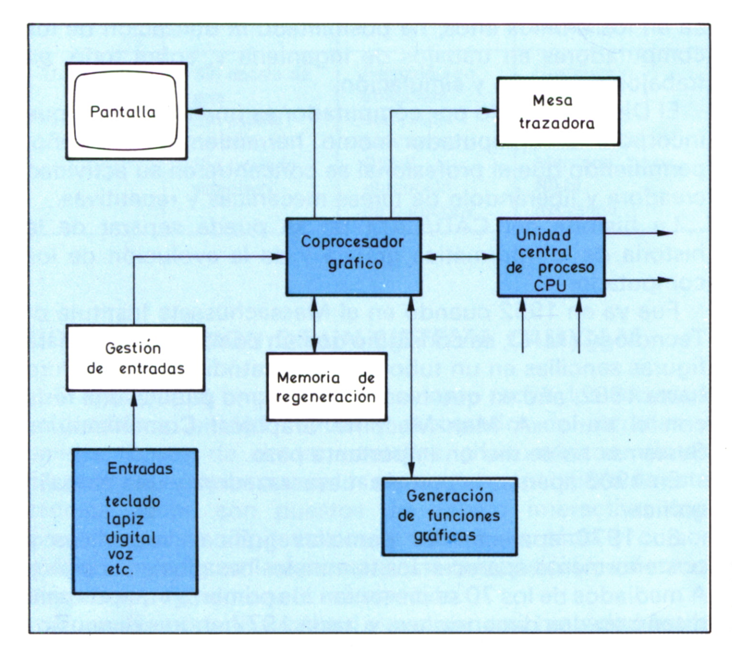


Figura 1. Composición esquemática de la actuación correspondiente al sistema CAD/CAM.

Un primer intento de definir el CAD/CAM sería traducir sus siglas (Diseño asistido por computador/Fabricación asistida por computador). Obsérvese que la definición estricta de CAD no incluye necesariamente una representa-

ción gráfica del diseño. En la práctica, todos los equipos de CAD/CAM tienen incorporada la representación gráfica en forma interactiva con la pantalla. Ello significa tener en todo momento una realimentación visual de las operaciones que se realizan. Esto permite controlar el tiempo real de evolución del dibujo en el que se está trabajando. Esta característica es el principal motivo de la gran aceptación y demanda de esta nueva tecnología.

El ámbito de aplicación del CAD es muy amplio y diverso: cualquier tipo de diseño, desde el más complejo al más sencillo, podrá beneficiarse de esta nueva tecnología.

HISTORIA DEL CAD/CAM

La evolución tanto de la Electrónica como de la Informática en los últimos años, ha posibilitado la utilización de los computadores en trabajos de ingeniería y, sobre todo, en trabajos de diseño y simulación.

El Diseño asistido por computador es una tecnología que incorpora el computador como herramienta de diseño, permitiendo que el profesional se concentre en su actividad creadora y liberándolo de tareas mecánicas y repetitivas.

La historia del CAD/CAM no se puede separar de la historia de la informática gráfica y de la evolución de los computadores.

Fue ya en 1952 cuando en el Massachussets Institute of Tecnology (MIT), se consiguió que un computador dibujara figuras sencillas en un tubo de rayos catódicos de TV. Pero hasta 1962, año en que Ivan E. Sutherland publica una tesis con el título «A Man-Machine Graphical Comunications Systems» no se dio un importante paso.

En 1968 aparece la primera mesa trazadora y una pantalla gráfica.

En 1970 aparecen las pantallas gráficas vectoriales y posteriormente aparecen los terminales basados en «pixels». A mediados de los 70 se presentan los primeros equipos para diseño en dos dimensiones, y hacia 1977 en tres dimensiones.

Más adelante se explicarán detalladamente estos nuevos conceptos que van apareciendo (mesa trazadora, pantalla gráfica, etc.).

Como se aprecia, existe una gran dinámica en la innovación de este campo de la Electrónica.

	Tubo de memoria (trazado vectorial)	*Tubo de refresco*	
		vectorial	*barrido*
Ventajas	Sin parpadeo Imagen estable Elevada resolución (4096 × 4096) Bajo costo Fácil de programar Posibilidad de hardcopy	Borrado selectivo Buena resolución (2048 × 2048) Interacción muy rápida 4 colores (sólo contornos)	Borrado selectivo Buena luminosidad y y contraste Interacción rápida Paneles en color Escala de colores Escala de grises Posibilidad de hardcopy
Desventajas	Sin escala de gris Sin escala de color Sin borrado selectivo	Parpadeo en imágenes complejas Más caro Difícil obtención de hardcopy	Resolución limitada (680 × 40) 1536 × 1024) Memoria RAM necesaria

Tabla 1. Resumen de características de los terminales gráficos (según tecnologías).

CONFIGURACION DE UN SISTEMA CAD/CAM

El CAD/CAM emplea prácticamente todos los recursos informáticos, unidad central y procesador de entradas y salidas, bases de datos, pantallas alfanuméricas, cintas magnéticas e impresoras, y los elementos específicos de esta técnica, como son puestos de trabajo interactivo con pantalla gráfica, digitalizadores, trazadores, lápiz y cursor gráfico. En la figura 1 se muestra esta composición, así como el camino seguido por la información.

Por su importancia vamos a explicar con brevedad estos elementos específicos.

Terminales gráficos

Los terminales gráficos posibilitan la representación de dibujos sobre pantallas mediante computador.

En donde:

1) La memoria de imagen contiene una lista de entidades gráficas.

2) El controlador interpreta la instrucción gráfica y controla el generador de imagen.

3) El generador de imagen genera caracteres, vectores, curvas, etc.

4) La pantalla contiene el sistema de visualización gráfico, por lo general un tubo de rayos catódicos.

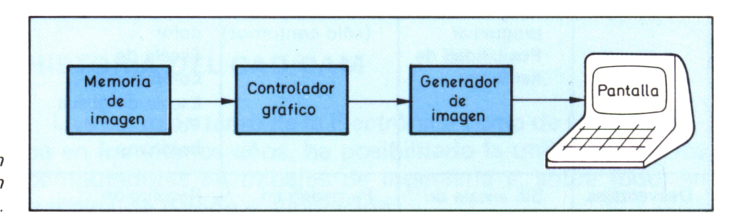


Figura 2. Representación esquemática de un terminal gráfico.

La imagen que se observa en la pantalla de un tubo de rayos catódicos es debida al fenómeno de la fluorescencia que presentan algunos materiales, en especial el fósforo, que es de los más utilizados.

La luminosidad producida al incidir el haz de electrones perdura un tiempo después de cesar el haz. A este tiempo se

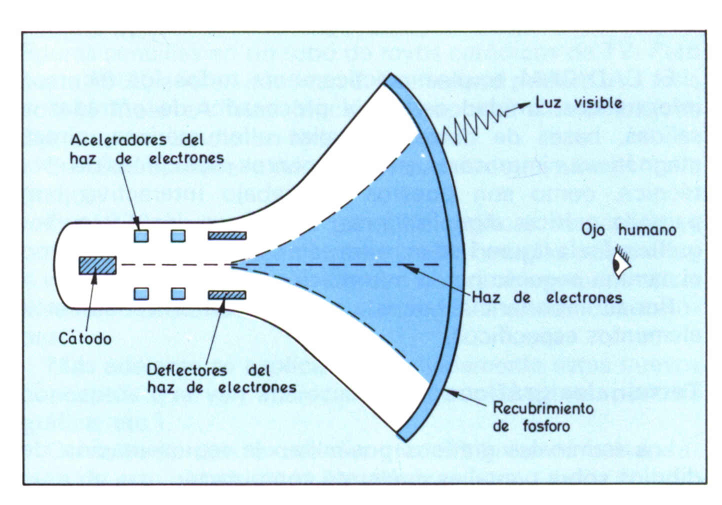


Figura 3. Vista en sección de un tubo de rayos catódicos que forma parte del computador.

le suele llamar persistencia y depende del tipo de fósforo utilizado.

Ya se ve que para tener una imagen en pantalla, ésta habrá de ser reinscrita con una frecuencia suficiente que dé la sensación de estabilidad. Lo deseable es disponer de un tipo de fósforo que tenga una gran persistencia.

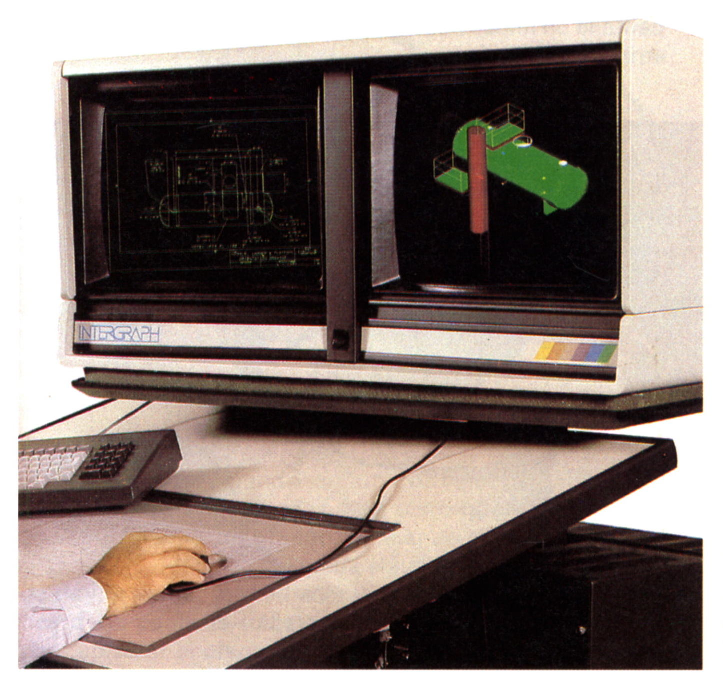


Figura 4. Terminal gráfico de un computador para CAD, que presenta la posibilidad de trabajar en color. (Cortesía: Intergraph).

Precisamente esta necesidad de reinscribir la imagen nos da un criterio de clasificación de los terminales gráficos:

a) Terminales con tubo de memoria. En apariencia el tubo tiene una gran persistencia y no es necesario reinscribir la imagen.

b) Terminales con memoria de regeneración. Cuando tenemos materiales con persistencias cortas es necesario que el generador de imágenes tenga memorizada la imagen y la reinscriba constantemente, con una velocidad de 50 veces por segundo es suficiente para dar sensación de estabilidad.

Modos de generación de imágenes

Comúnmente se utilizan dos métodos:

a) Trazado vectorial. Este consiste en el desplazamiento directo del haz de electrones de un punto a otro.

b) Trabajo mediante barrido, que es similar al empleado en los receptores de televisión. El haz electrónico recorre la pantalla en líneas horizontales de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

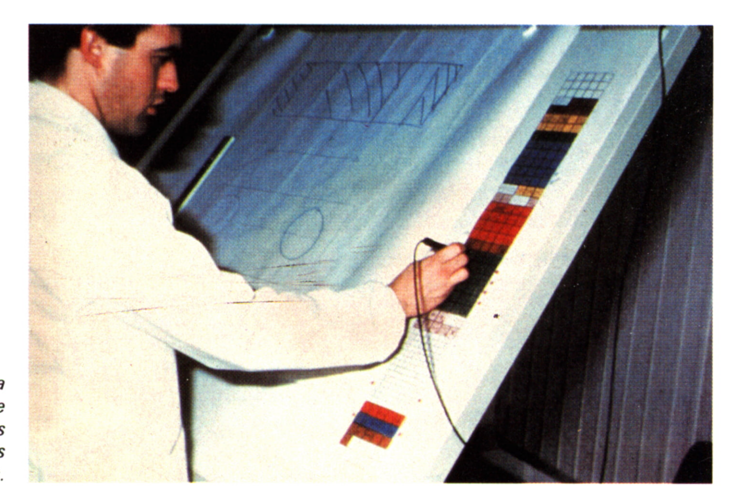


Figura 5. Mesa digitalizadora, en donde se convierten los dibujos en parámetros electrónicos.

Tableta digitalizadora

Es una mesa que dispone de un cursor que el usuario puede desplazar sobre ella. La misión de la mesa digitalizadora es determinar las coordenadas X, Y en las que esté el cursor y qué función le afecta a este punto (por ejemplo si es un vértice o bien el centro de una circunferencia, etc.). Posteriormente ello se dibujará en la pantalla.

Otra posibilidad es desplazar la pluma siguiendo el trazo del dibujo que queremos reproducir.

También se puede utilizar como menú, disponiendo en él las diferentes posibilidades gráficas o símbolos más usuales. En la figura 5 se muestra una mesa digitalizadora.

Cuando se dibuja con la mesa se suele definir una

cuadrícula en la pantalla y se dibuja aproximado a vértices de esta cuadrícula. Si se superponen cuadrículas de diferentes tamaños se pueden definir puntos con una precisión total.



Figura 6. Lápiz luminoso explorador de los dibujos previos sobre los que se va a trabajar.

Si se está trabajando en un formato de DIN A0 y la pantalla es de 15 pulgadas, está claro que el dibujo se verá en la pantalla muy pequeño; dibujar en estas condiciones es muy difícil. El problema queda solventado con la posibilidad de definir ventanas mediante las cuales se hacen ampliaciones de la zona de trabajo, volviendo luego al tamaño real para apreciar el efecto de conjunto.

Cursor gráfico

Es una marca (generalmente una cruz) que se puede desplazar por la pantalla permitiendo seleccionar un punto determinado y transmitir sus coordenadas hacia el ordenador.

Es un dispositivo de selección, su funcionamiento es como sigue: se posiciona el lápiz sobre un punto de la pantalla y se oprime un pulsador que tiene incorporado, con esto el computador puede tener las coordenadas de este punto. Con el empleo de este dispositivo de selección, se pueden realizar acciones de:

1) Selección de parte de un modelo.
2) Utilización de menús (en la figura 6 el lápiz está siendo utilizado para seleccionar una función del menú.

Trazadores

Son periféricos por los cuales sale información en forma gráfica, pueden estar conectados a computadores, cintas o bien funcionar en forma autónoma.

Podremos distinguir 6 tipos de trazadores, la clasificación se hace en función del mecanismo de impresión:

a) *Trazadores de mesa.* El papel se mantiene fijo en la mesa y las plumas van imprimiendo el dibujo accionadas por motores paso a paso. Son las que ofrecen una mejor precisión (figura 7).

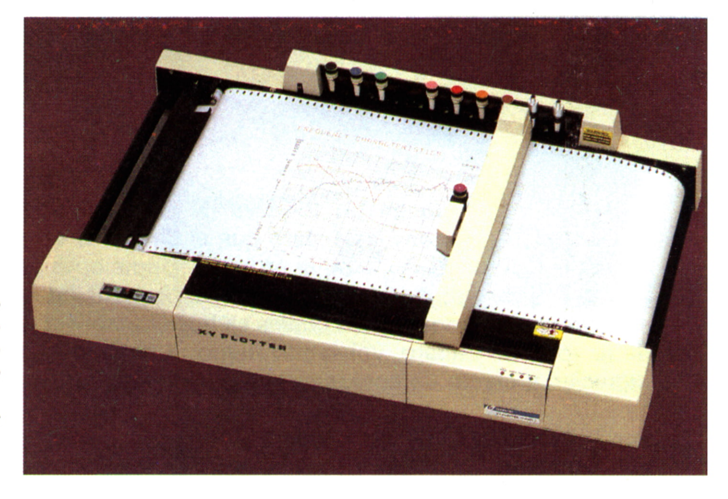


Figura 7. Trazador de figuras (plotter) de tipo sobremesa. Este modelo presenta la posibilidad de trabajar con diez colores, intercambiables automáticamente. (Cortesía: Epson).

b) *Trazadores de tambor.* El tambor gira con el papel a él fijado, desplazándose la pluma a lo largo de una recta.
c) *Trazadores de rodillo.* A diferencia del caso anterior, el papel avanza aquí a través de rodillos dentados, con lo que la longitud del papel puede ser ilimitada (figura 8).
d) *Trazadores de proyección de tinta.* Pueden imprimir sobre cualquier soporte y hacer fotolitos para multicopia.
e) *Trazadores electrostáticos.* En este tipo, un papel especial

revestido de una capa aislante, avanza a velocidad constante frente a un peine cuyos estiletes depositan cargas electrostáticas. El papel debe sufrir luego un proceso de revelado.

f) *Trazadores ópticos (fotoplotters).* Usados principalmente para clichés de circuito impreso o cartográficos, y para máscaras de circuitos integrados. Impresiona un soporte fotosensible con una lámpara halógena o bien láser, de manera que el haz pase a través de un disco-imagen cambiable, que contiene los símbolos del tipo de dibujo que se va a efectuar y que está codificado en posición.



Figura 8. El sistema de dibujo automático puede adaptarse a una impresora de rodillos. (Cortesía: Epson).

COMPUTADOR NECESARIO PARA UN SISTEMA CAD/CAM

En un principio fueron los microcomputadores los que resolvían todas las necesidades de los primeros sistemas CAD. Las necesidades y demandas de los usuarios han hecho surgir paquetes de programas cada vez más complicados. El sistema debe soportar también base de datos voluminosos, la CPU debe atender a un buen número de usuarios y atenderlos en un tiempo adecuado. También se les está pidiendo a los sistemas CAD la capacidad de conectarse en una red para que cada una de las empresas

pueda estar conectada con sus distintos terminales a otras emplazadas en localidades diferentes.

Fue entonces cuando aparecieron los minicomputadores. Primero de 16 bits, que también se mostraron inadecuados para según qué aplicaciones, y pronto surgió la arquitectura de minicomputadores de 32 bits. Este tipo de estructura cumple de momento las exigencias actuales. Las principales aportaciones que introducía este tipo de computadores son:

a) La memoria virtual, que permite ejecutar programas que requieren más memoria de la que dispone el sistema sin tener que segmentar el programa.

b) Uso de memoria «Cache» para que las partes del programa más utilizadas estén siempre residentes.

El sistema CAD que hemos descrito es el más complejo y el que nos da más prestaciones. Pero esto no quiere decir que el microcomputador no fuera una herramienta útil en las tareas de diseño.

Habrá empresas que no requieran todas las posibilidades que ofrecen los minicomputadores de 32 bits y sus necesidades pueden quedar cubiertas con microcomputadores. Incluso existen paquetes de software funcionando en computadores personales.

Podríamos resumir que a sistemas con programas de 2D (2 dimensiones) y 2 1/2 D les basta con 16 bits y que los sistemas 3D (3 dimensiones) van muy justos con 16 bits, resultan lentos. El empleo de computadores de 32 bits es inevitable para efectuar cálculos de elementos finitos y modelado de sólidos.

Software

Existen muchos tipos de programas. Unos pueden considerarse como software básico (modelización, gestión de base de datos, etc.) y otros específicos a una aplicación determinada, los cuales son comercializados por distintas casas. En general, la mayoría de los programas han sido desarrollados por los usuarios y las casas comerciales los han estandarizado y puesto a la venta.

Dimensionalidad

Existen programas para trabajar en 2 y 3 dimensiones, en el intermedio se dispone de sistemas de 2 1/2 dimensiones

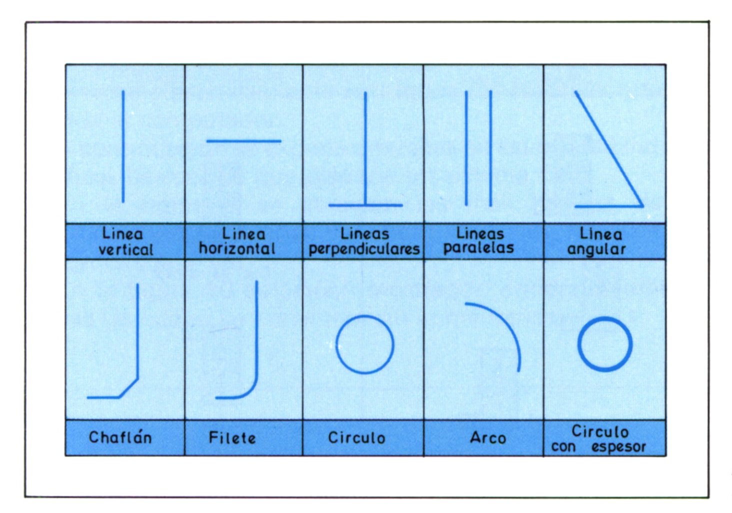


Figura 9. Representación de entidades gráficas.

en los cuales se crean perspectivas, pero el sistema no tiene noción de volumen, y no se podrá hacer simulación.

POSIBILIDADES GRAFICAS

Utilizar las posibilidades de dibujo de un sistema CAD/-

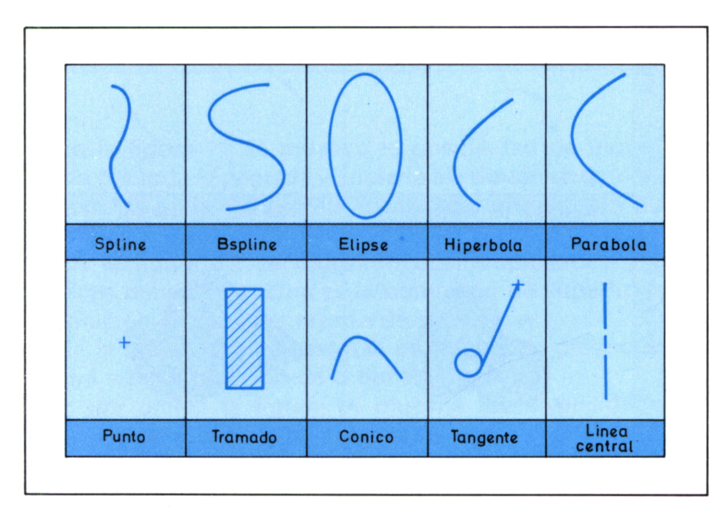


Figura 10. Otras entidades gráficas, complementarias de las correspondientes a la figura anterior.

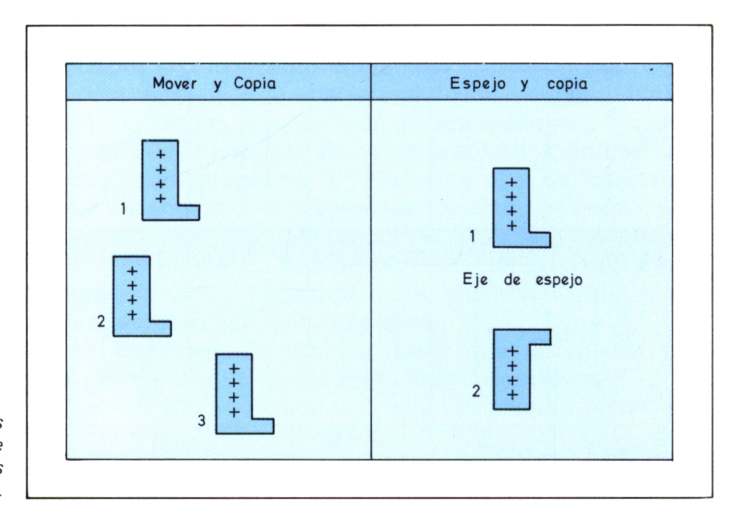


Figura 11. Propiedades gráficas del sistema de obtención de esquemas mediante computador.

CAM no debe representar ninguna dificultad especial después de un período de aprendizaje.

Lo que más choca a los que se inician es que la estrategia de dibujo es distinta a la de dibujar a mano.

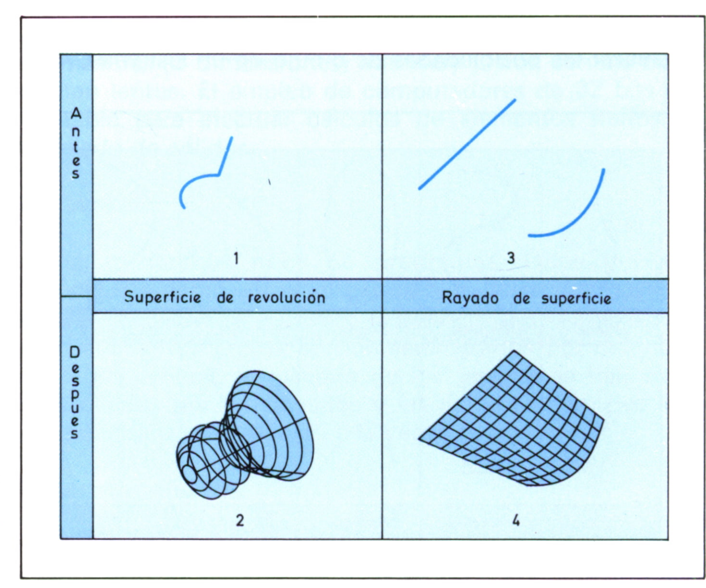


Figura 12. Otras propiedades gráficas, preparadas para efectuar figuras más complejas en tres dimensiones.

Aunque en lugar de un lápiz se tenga un lápiz electrónico y en lugar de papel se tenga la pantalla gráfica, lo que los diferencia sustancialmente son todos los recursos que nos brinda el computador.

A continuación se exponen muchas de estas posibilidades gráficas básicas de que dispone un sistema CAD.

En la figura 9 se aprecian las más básicas de las posibilidades. Se pueden ver líneas verticales, horizontales, arcos, círculos, etc.

En la figura 10 se siguen mostrando entidades gráficas todas las cuales se entienden sin comentarios.

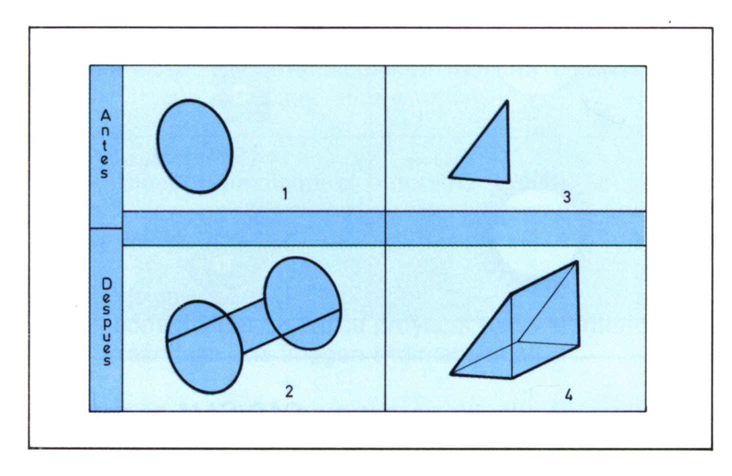


Figura 13. El conocimiento a fondo de las propiedades gráficas permite aprovechar las enormes posibilidades del computador.

En la figura 11 se muestra la posibilidad de mover una pieza por toda la pantalla y copiarla allí donde se quiera. Otra propiedad es la del espejo, ideal para dibujos que tengan simetrías.

En la figura 12 se muestran dos propiedades gráficas básicas del sistema. Una es la obtención de superficies por revolución y otra es el rayado de superficies.

En la figura 13 se muestra la propiedad de proyectar una figura y tener la visión de 3 dimensiones.

Y por último la figura 14 muestra las posibilidades de rotar-copiar y la de rotar solamente.

Es decir, para hacer un dibujo que tenga simetría axial bastará con dibujar la mitad de la figura y a continuación

hacer una simetría. Si se tiene un elemento que aparece varias veces en un plano, como puede ser una arandela o un tornillo, se dibujará una sola vez y después se situará en los puntos adecuados del plano. De esta manera puede ahorrarse mucho tiempo en la confección de planos complejos.

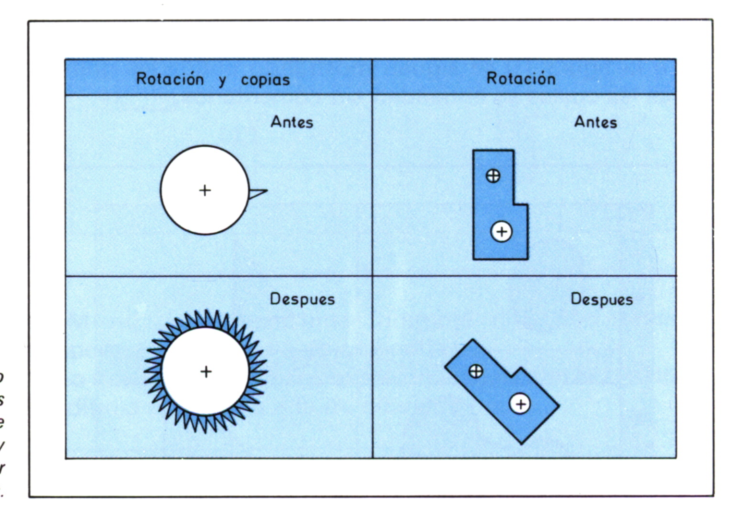


Figura 14. Un diseño inicial, puede repetirse las veces que se desee sobre una misma figura, y también efectuar rotaciones espaciales.

Así pues, al adquirir un sistema CAD/CAM se parte de cero, pero conforme se vayan haciendo diseños podremos ir teniendo un archivo electrónico que nos facilitará aún más los dibujos posteriores. Esta es una de las funciones básicas de los sistemas CAD/CAM, junto con la ventaja que resulta de poder almacenar sobre un soporte magnético, ya sea un disco flexible, disco duro o cinta magnética. Téngase en cuenta que esta función es de vital importancia, no ya por la facilidad de dibujo, sino también por el poco espacio que ocupan los planos, la transportabilidad y que los planos no se deformen con el tiempo, también si se quiere hacer modificaciones sobre un plano ya existente, bastará leerlo, modificar y catalogar con otra referencia.

ESTUDIO DE UN DISEÑO

Partiendo de las posibilidades gráficas que brinda el

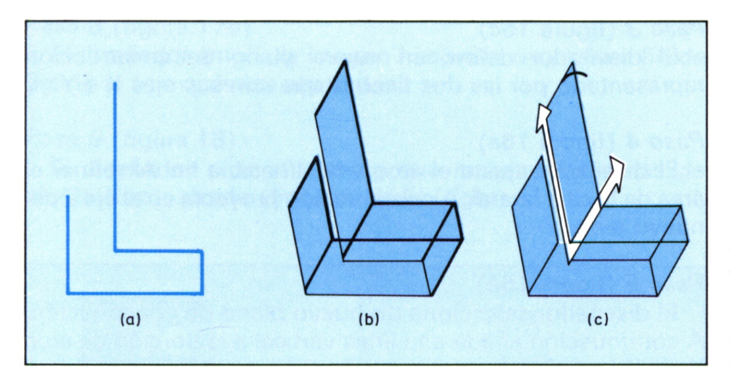


Figura 15. a) Plano activo frontal, definición 5 líneas, definición origen; b) Proyección en 3 D; c) Definición plano #1, adición de un arco.

sistema CAD, a continuación se muestra cómo sería el diseño de una pieza mecánica sencilla.

Paso 1 (figura 15*a*)
El diseñador, mediante el programa básico, dibuja cinco líneas y un punto que sirve de origen del plano de construcción.

Paso 2 (figura 15*b*)
La geometría del objeto se proyecta hacia el interior de la vista, creándose una imagen tridimensional.

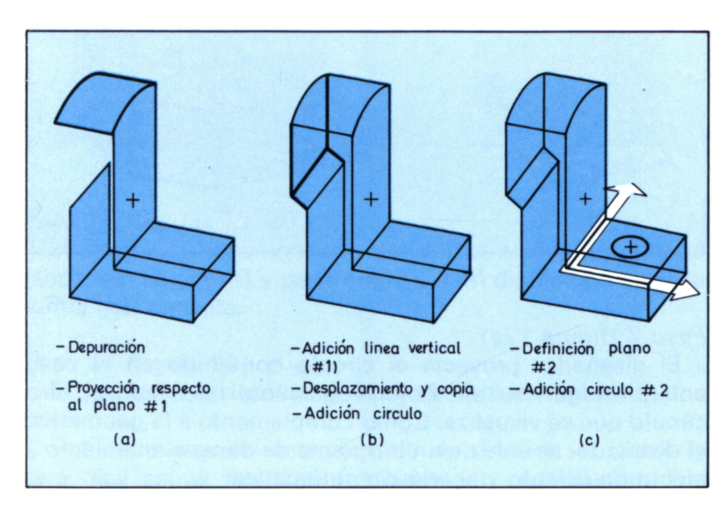


Figura 16. a) Depuración, proyección respecto al plano #1, adición línea vertical (#1), desplazamiento y copia, adición de líneas; b) Adición línea vertical (#1), desplazamiento y copia, adición de líneas; c) Definición del plano #2, adición del círculo #2 (giro para definición).

Paso 3 (figura 15*c*)

El diseñador define un nuevo plano de construcción representado por las dos flechas que son sus ejes X e Y.

Paso 4 (figura 16*a*)

El diseñador ajusta el arco y las líneas, a fin de refinar el área de la cara lateral. A continuación proyecta en el eje Z del nuevo plano.

Paso 5 (figura 16*b*)

El diseñador selecciona un nuevo plano de construcción. A continuación añade una línea vertical a la porción de arco definido en el paso anterior y añade las tres líneas que faltan para completar la cara posterior.

Paso 6 (figura 16*c*)

El diseñador define un nuevo plano de trabajo representado por la flecha. A continuación dibuja un círculo centrado en la cara.

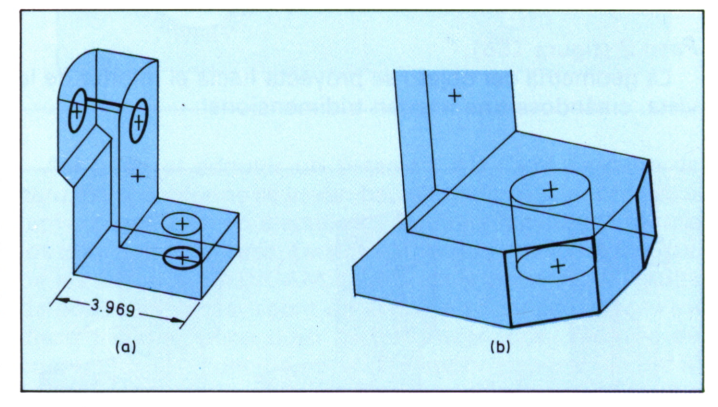


Figura 17. a) Proyección círculo #2, adición círculo #1, proyección círculo #1, petición de información dimensional; b) Barras de información dimensional, rotación y definición del bisel #2, rotación y ampliación, definición del bisel #2.

Paso 7 (figura 17*a*)

El diseñador proyecta el círculo contenido en el paso anterior según su eje Z. Análogamente hace con el otro círculo que se visualiza. Como complemento a la geometría, el diseñador se vale de un programa de dimensionamiento a efecto de cálculo y acotación automática.

Paso 8 (figura 17*b*)

El diseñador amplía la imagen haciendo un zoom a fin de definir la forma de los chaflanes.

Paso 9 (figura 18)

El diseñador pide al sistema que muestre las vistas de planta (top), alzada (front) y perfil (right).

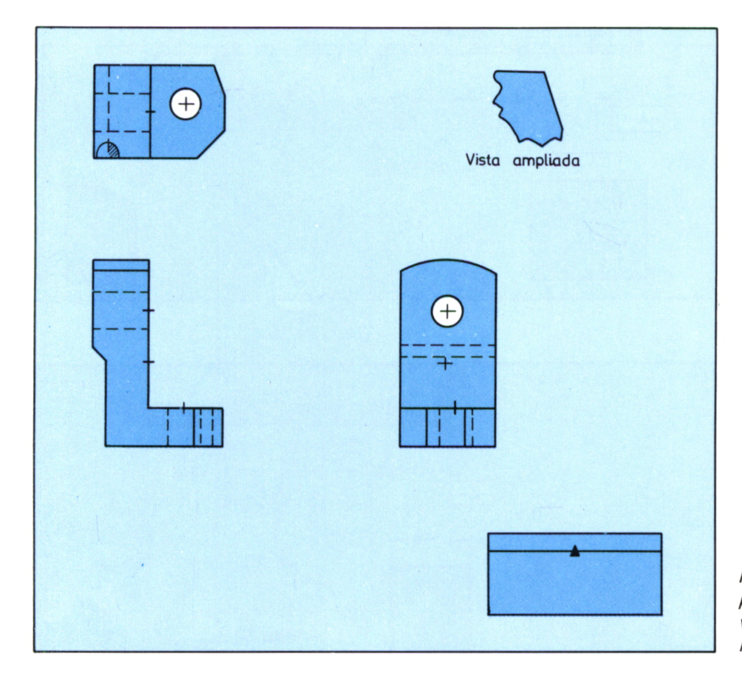


Figura 18. Dibujo de una pieza mecanizada en tres vistas; vista ampliada y modificaciones.

Paso 10 (figuras 19, 20 y 21)

El diseñador hace un zoom de las distintas vistas, planta (top), alzada (front) y perfil (right), a fin de dimensionar de forma más sencilla.

Paso 11 (figura 22)

El diseñador revisualiza el dibujo completo con todas sus cotas.

Habiendo seguido este ejemplo de diseños, al lector le será fácil seguir los distintos pasos de otro diseño. Por

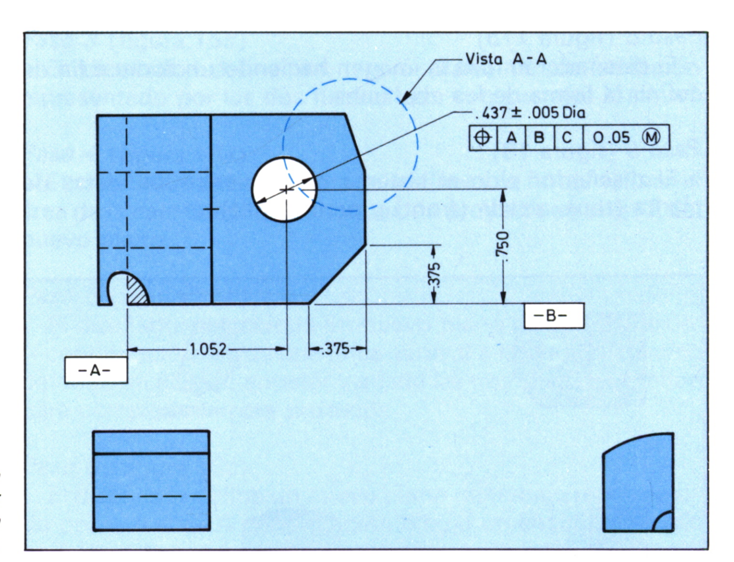


Figura 19. Información del diámetro del orificio; definición A, B; adición nota aclaratoria.

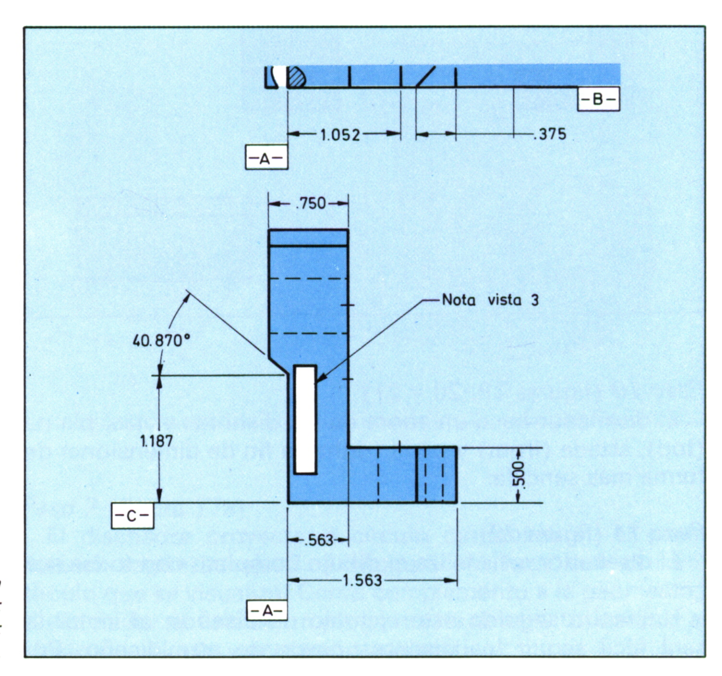


Figura 20. Ampliación vista desde arriba; delimitación 1 dimensión; inserción nota aclaratoria.

ejemplo, en la secuencia de dibujos de la figura 23 se muestra el diseño gráfico de una pieza mecánica que es parte de una bomba hidráulica.

En dicha figura, después de definir la geometría básica, el diseñador crea en volumen la pieza, valiéndose del operador de superficie de revolución; la fase siguiente muestra esta superficie coloreada en rojo; en la siguiente fase se añade la parte pintada en blanco, que luego aparece en color azul.

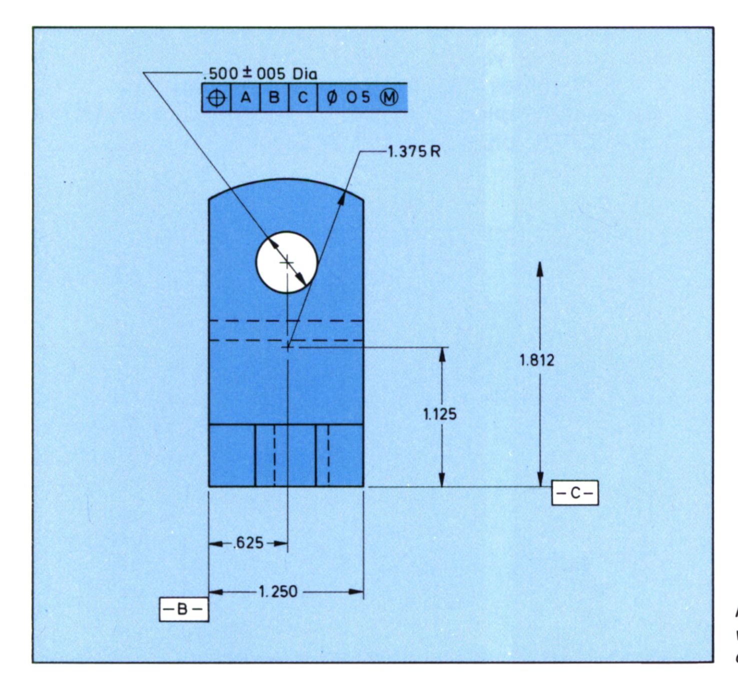


Figura 21. Ampliación vista desde arriba; delimitación 1 dimensión.

Las figuras de las cuatro últimas fases muestran la secuencia gráfica seguida para obtener el diseño completo de la pieza que se presentan en la figura 24.

APLICACIONES DEL CAD/CAM

El lector, hasta este momento de la lectura, ya ha visto la gran herramienta que supone un sistema gráfico CAD. Ahora, para completar, se expondrán unos ejemplos y

experiencias de sectores de la industria que están trabajando con sistemas CAD/CAM. Estos ejemplos terminarán de dar la visión y verdaderas posibilidades de estos sistemas.

Aplicación en el diseño de circuitos impresos

En el diseño electrónico, el fin último es conseguir un esquema electrónico donde aparezcan todos los componentes que serán utilizados en el montaje.

El diseño electrónico realizado por CAD, presenta las ventajas gráficas ya conocidas. Ahora, el diseñador tiene como herramientas de trabajo los elementos interactivos, tableta gráfica, lápices luminosos, pantalla de colores, en lugar de lápices, plumas, papel, etc.

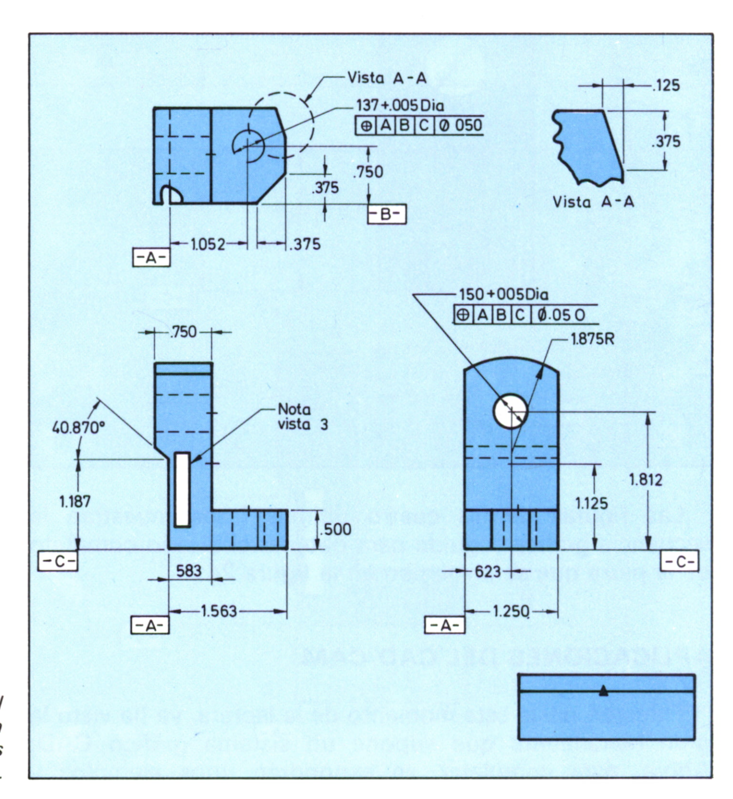
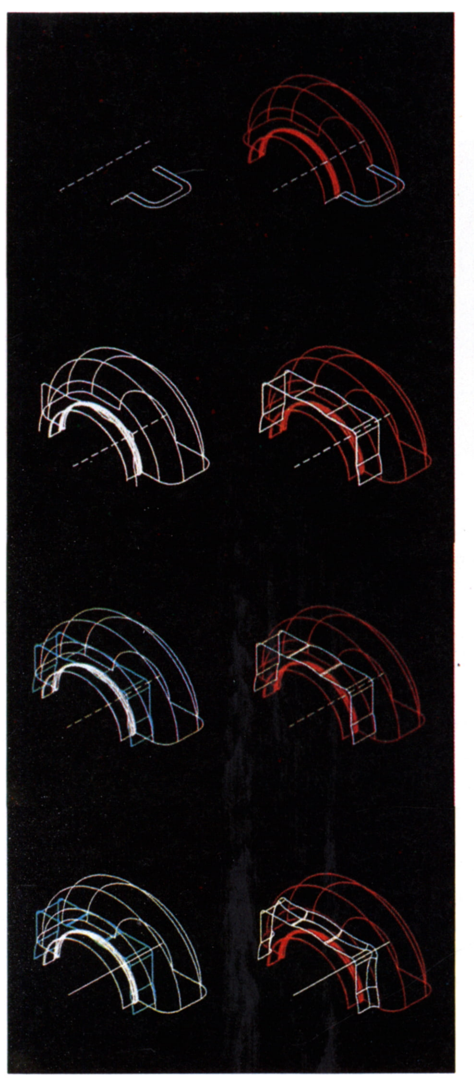
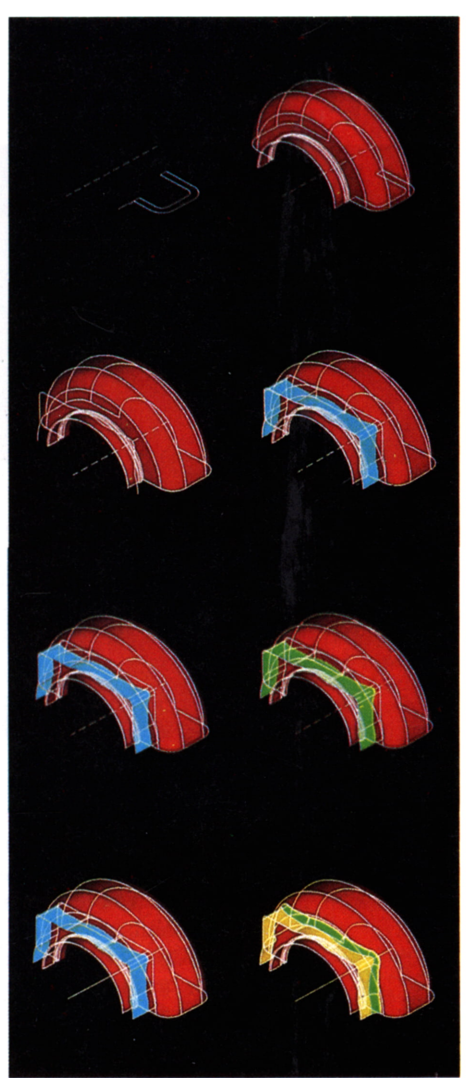


Figura 22. Vista del conjunto de la pieza mecánica en tres posiciones.

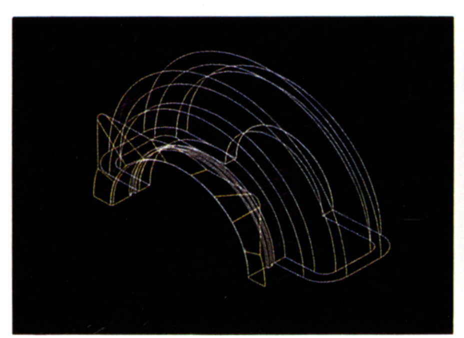
El trabajo del diseñador, valiéndose de un elemento interactivo, consistirá en elegir de una minuta un símbolo (puerta lógica, rectas, etc.) y trasladarlo al lugar deseado de

Figura 23. Diferentes fases de diseño de una pieza mecánica, (bomba hidráulica.)





la pantalla. De esta manera fácil, irá componiendo el esquema (figura 25) que, una vez terminado, será almacenado en el computador. Ya podemos ir viendo algunas de las ventajas que presenta la utilización de esta técnica. Por ejemplo, la corrección del esquema significará solamente en borrarlo y almacenar la nueva versión. Ello garantiza la coherencia de la documentación y sobre todo, el ahorro de tiempo al diseñador.



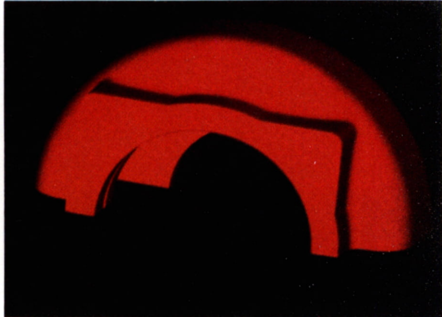


Figura 24. La pieza mecánica de la figura anterior ya terminada.

Hasta ahora, sólo hemos comentado las posibilidades gráficas. Pero nos queda por resolver el problema principal, que es encontrar los caminos que unen los terminales de cada conexión.

Para su resolución, primero sustituiremos el esquema electrónico por otro equivalente de componentes.

Resumiendo, nuestro problema es que tenemos un esquema electrónico y se desea un esquema en el que a cada función lógica se le asocie la identificación de un componente y los terminales que lo realizan.

Esta tarea la ha de realizar el diseñador ayudado por el sistema CAD y no suele ser muy difícil.

Así pues, ahora se tiene planteado el problema de trazado como un problema a resolver entre terminales de componentes físicos.

Con anterioridad al trazado se tiene que definir el espacio de trabajo, es decir, la forma que debe tener la tarjeta. También se tiene que definir la tecnología de fabricación, número de capas de la tarjeta, densidad de pistas, etc.

Para su resolución se emplean diferentes métodos que,

para no cansar al lector, se explican brevemente. Primero, lo que se tiene que hacer es buscar una colocación de componentes sobre la tarjeta que permita el trazado de las conexiones. Este se puede realizar normalmente o automáticamente.

Los métodos normales pueden ser:

a) *Directos*, donde el diseñador coloca los elementos según su experiencia.

b) *Realimentados*, el diseñador va colocando y a la vez recibe información del sistema para poder volver a actuar.

Los métodos automáticos realizan la tarea gracias a un programa que recopila los conocimientos y técnicas de los diseñadores.



Figura 25. Diseño de un circuito electrónico mediante computador. (Cortesía: Daisy).

Una vez se ha optado por un sistema, se tiene que resolver el conexionado de todos los Terminales de los componentes. Esta es la parte más delicada del diseño del circuito impreso. Este problema también se puede realizar en forma interactiva (computador-hombre) o bien automáticamente. Existen implementados diferentes algoritmos que resuelven este problema.

La figura 26 muestra la distribución de componentes de una placa de circuito impreso y el conexionado de sus terminales.

Aplicación de CAD/CAM en el diseño aeronáutico

La industria aeroespacial ha sido una de las pioneras en el empleo del CAD/CAM. Su elevado nivel técnico y las fuertes inversiones que se han de hacer, justificaron la adquisición de esta nueva tecnología, a pesar de su alto coste, en el inicio de la década de los 60.



Figura 26. Elaboración del dibujo para un circuito impreso de dos caras. La imagen puede ampliarse en cualquier zona para lograr mayor precisión en el dibujo. (Cortesía: Daisy).

En un principio se empleó para la realización de cálculos complejos asociados al diseño aerodinámico o estructural. Hoy día es impensable emprender un nuevo proyecto de avión en el que no intervengan las técnicas CAD/CAM. Desde su concepción inicial hasta los ensayos de vuelo, el computador está presente como herramienta indispensable.

En la figura 27 se muestra un sistema CAD/CAM utilizado en este tipo de industria.

Una vez decididos a la construcción de un avión, son varias las etapas que se han de seguir para su diseño total:

a) *Geometría básica:* la finalidad es la de definir un primer borrador de cómo debería ser el avión, es decir, dimensio-

nes generales, tipo de motor a utilizar, formas aerodinámicas, tipo de estructura, etc. En base a esta geometría preliminar se pueden ir definiendo la localización de elementos estructurales, ubicación de equipos y distribución de volúmenes en general. Es en este tipo de trabajo, que requiere una visión 3D, donde los sistemas CAD/-CAM se muestran muy útiles (figura 28).

Tener bien definida la geometría básica facilita, tanto al área de diseño como al área de fabricación, sus tareas, garantizando la buena integración de los diferentes componentes del avión.

b) *Diseño eléctrico e hidráulico:* no es posible pensar hoy día en un diseño donde la parte eléctrica e hidráulica no ocupen un importante papel. Se tiene pues la necesidad de diseñar los esquemas del conjunto y de las partes que lo componen.

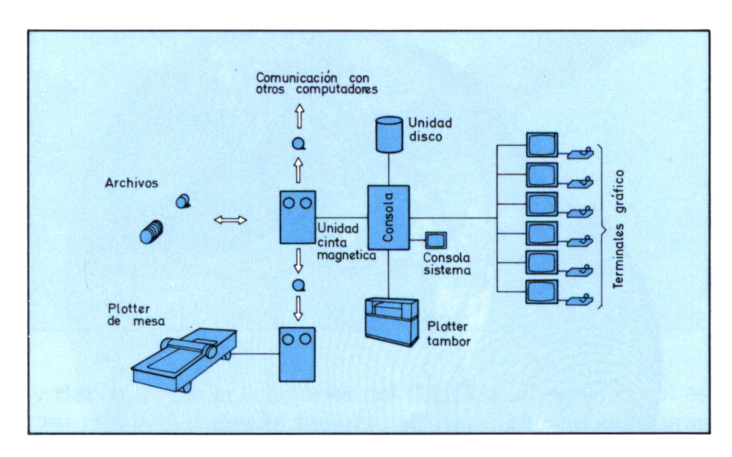


Figura 27. Representación esquemática del sistema CAD/CAM aplicado a la industria aeronáutica.

A la hora de diseñar en detalle las instalaciones hidráulicas y eléctricas, son explotadas las ventajas tridimensionales que brinda el sistema. Por ejemplo, los accesos disponibles, obstáculos, áreas reservadas para elementos móviles. Todo ello permite el tendido eléctrico e hidráulico muy detallado y coherente con la geometría definida. La metodología es muy similar a la de cualquier tipo de diseño gráfico. Si cabe, aquí es mucho más corriente utilizar elementos o esquemas ya utilizados que tienen

ligeras modificaciones, por lo cual disponer de una buena biblioteca redundará en un ahorro de tiempo.

c) *Modificaciones:* las modificaciones y mejoras son una constante en cualquier proyecto. Estas no se presentan solo en el momento del diseño, sino que incluso en la vida del modelo se continúa haciendo modificaciones, al objeto es buscar la ampliación de prestaciones o mejorar sus características.

   El volumen de modificaciones suele ser muy elevado, llegando incluso a superar el propio diseño. Es aquí donde un sistema CAD se muestra útil, pues basándose en los trabajos anteriores, bastará acceder a los planos afectados, eliminándose o almacenando esta nueva copia.

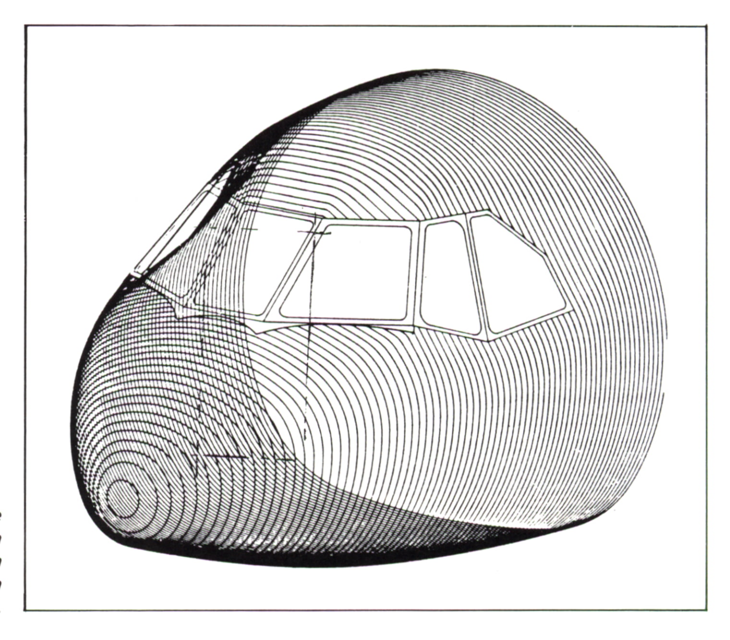


Figura 28. Definición de la geometría básica de la cabina de un avión mediante un sistema CAD.

CAD/CAM en la ingeniería civil

Los problemas que se plantean en ingeniería civil suelen ser de gran magnitud, bien desde el punto de vista económico, social o por la modificación del territorio donde

se realiza el proyecto. El ingeniero no tiene jamás la posibilidad de construir un prototipo en el cual basarse para ir aproximándose a la solución óptima. Las posibilidades que brinda el CAD/CAM han hecho que la ingeniería civil sea un área donde ha tenido gran aceptación esta nueva tecnología.

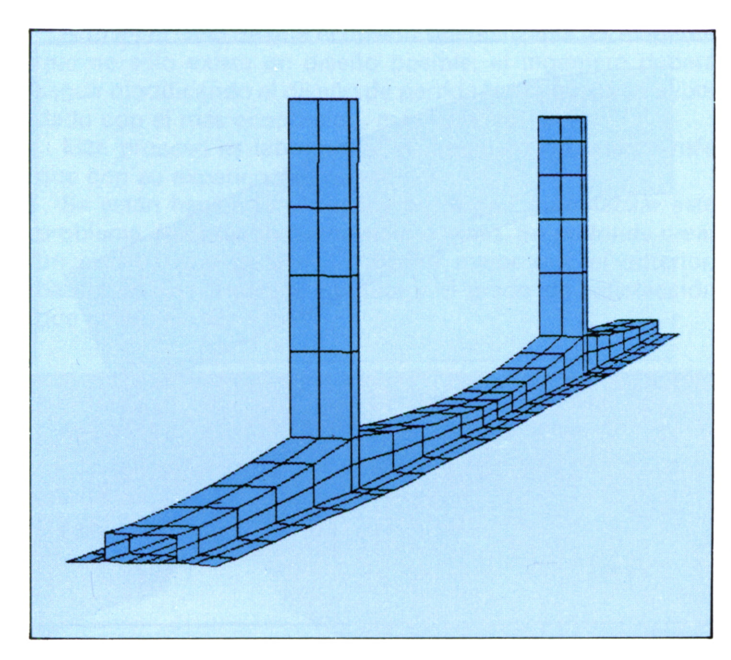


Figura 29. Preproceso de una estructura de puente. Un caso práctico de las aplicaciones civiles del CAD/CAM.

Hablar de las aplicaciones del CAD en ingeniería civil es casi referirse al diseño estructural. Por supuesto que otras áreas de la ingeniería civil se benefician de la utilización de lo aprendido, pero no tanto.

Los avances que día a día se van sucediendo en esta nueva tecnología hacen que sea posible abordar problemas que por su complejidad hasta ahora no podían tratarse. La solución de estos problemas da lugar a que se planteen otros nuevos, esto hace que el computador sea una herramienta inseparable en el proceso de diseño.

Pero todavía no existen desarrollados sistemas versátiles que ayuden en las etapas previas y posteriores del análisis (cálculo) del diseño.

El preprocesado de datos geométricos es imprescindible en problemas tridimensionales para asegurar que los cálculos que se harán posteriormente se basen en datos geométricos correctos. Por ejemplo, en la figura 29 se presenta una estructura de puente preprocesada.

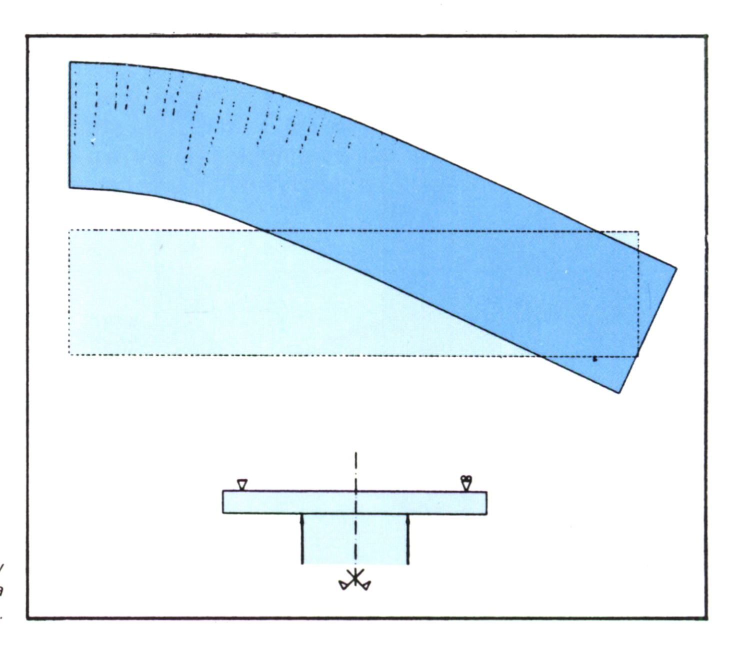


Figura 30. Formación y deformación de una viga de hormigón.

De igual forma, es importante evaluar los resultados obtenidos haciendo un postproceso. Así pues, es significativa la representación gráfica de deformaciones de la estructura y las tensiones a las que está expuesta. Por ejemplo, en la figura 30 se representa la generación de figuras en una viga de hormigón armado al aumentar la carga de utilización.

Solución óptima

Hasta ahora, la búsqueda de la solución óptima es una tarea que realiza el ingeniero. Este crea un modelo que ha de cumplir unas especificaciones constructivas, las cuales responden a:

a) Unas dimensiones geométricas (entorno).

b) Límites de rotura, carga, resistencia, etc.

El modelo será pues formulado en función de un número finito de variables que determinarán su configuración, dimensiones, resistencia, etc. Una vez asignados valores a dichas variables, el ingeniero se encontrará con un diseño que sabrá si cumple con los requerimientos.

Aun en el caso de que el diseño sea realizable, es evidente que no sólo existe un diseño posible, el ingeniero deberá seguir modificando el diseño de partida hasta que crea haber dado con el más económico, más estético, etc.

Este proceso es laborioso y el ingeniero no cuenta más que con su experiencia profesional.

Se están haciendo esfuerzos por lograr automatizar este problema de decisión del modelo óptimo. Se pretende crear un sistema que genere un diseño mejor que el anterior, basándose en el diseño original y el grado de satisfacción que proporcione.



Figura 31. Vista isométrica, a través del computador, de una central nuclear. (Cortesía: Calma).

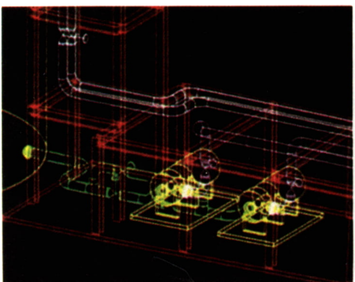
Otras aplicaciones del CAD en ingeniería civil

Son innumerables las aplicaciones que tiene el CAD en este área de la ingeniería. Ejemplos son el diseño de redes de tráfico, redes de distribución de energía, trazado de carreteras y en otro extremo de complejidad se encuentra el diseño de centrales petroquímicas, eléctricas, presas, etc.

La figura 31 muestra una vista isométrica de una central nuclear. Valiéndose de las posibilidades gráficas del CAD, podemos obtener las vistas de detalle y el modelado de parte de los componentes (figura 32).

Otra de las grandes aplicaciones, no sólo en ingeniería civil, sino en cualquier otra disciplina de diseño de infraestructuras, es el diseño de la red de tuberías (piping). El proceso generalmente consta de tres etapas: en primer lugar se crea en dos dimensiones el PID (Piping & Instrumentation Diagrams) en el que se indica la lista de flujo, lista de components (válvulas, tanques, etc).

En una segunda fase, y ya en tres dimensiones, se ubican los componentes. Una vez definido el modelo, el sistema proporciona el detalle del recorrido del circuito. Cuestiones de interés son por ejemplo, el listado de materiales, ubicación de soportes, etc.



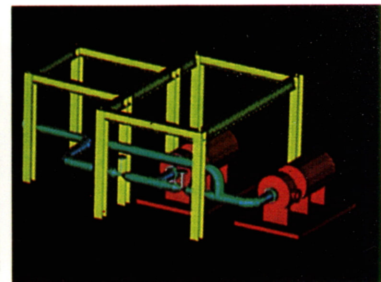


Figura 32. Modelado de sólidos en aplicaciones hidráulicas. (Cortesía: Calma).

Aplicaciones en la Arquitectura

Si el lector ha ido siguiendo las distintas aplicaciones del CAD/CAM, fácilmente podrá imaginar las posibilidades que brinda para el diseño arquitectónico. En general, el CAD se muestra rentable en cualquier aplicación donde intervenga el diseño gráfico. Y sobre todo, la informática aporta la ayuda para la ordenación de toda la información que se genera en un proyecto.

Como ejemplo de diseño gráfico se muestra la figura 33 en sus 4 fases de procesado; en la primera, el diseñador crea la base y diseña una columna, las otras son copia de la primera y ha bastado ir colocándolas en el sitio que les corresponde.

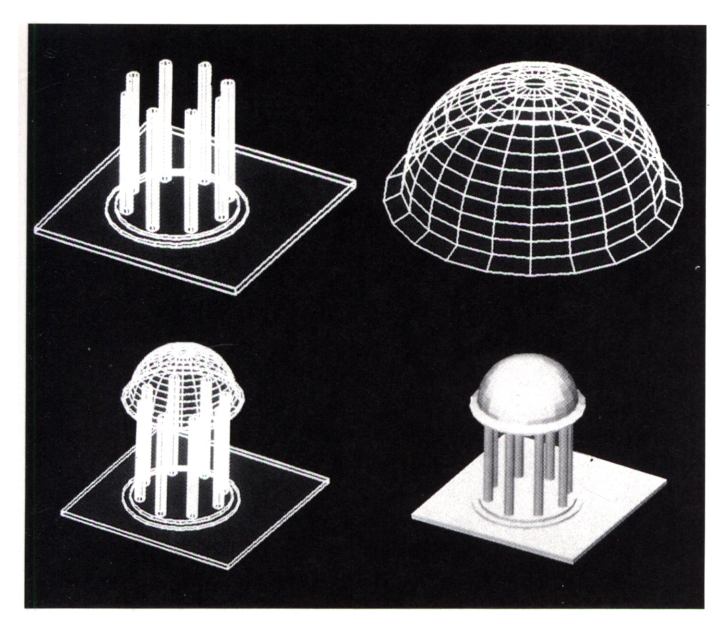


Figura 33. Cuatro fases de diseño de un motivo arquitectónico.

En la fase siguiente, el diseñador obtiene la cúpula sencillamente haciendo una revolución de la curva que define la bóveda. En la tercera fase se ve el conjunto

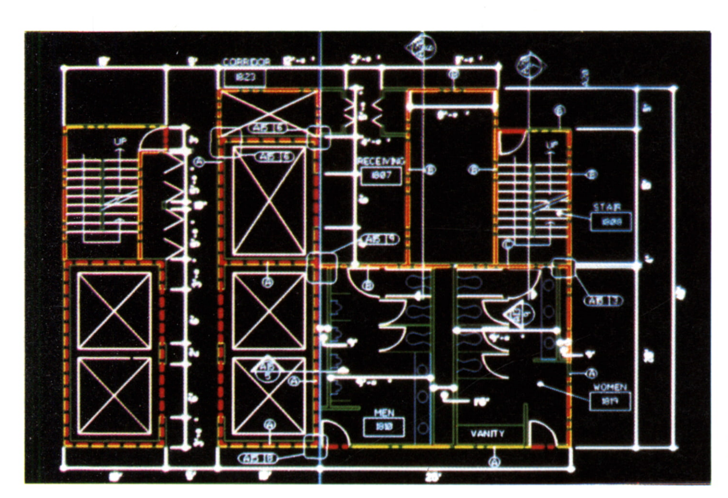
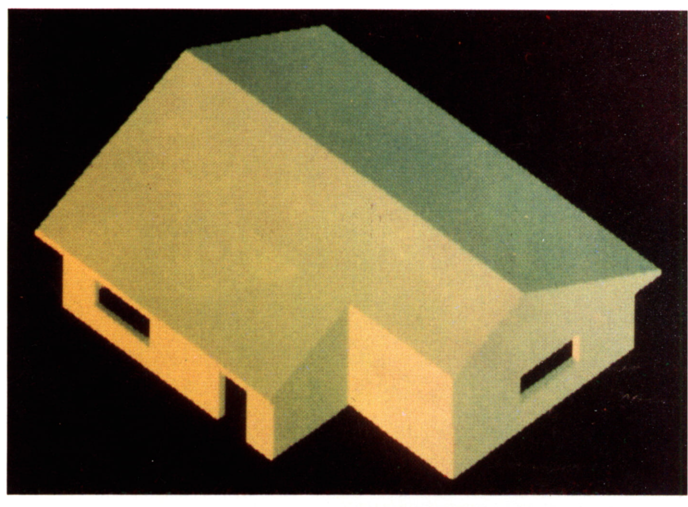


Figura 34. Distribución en planta de una vivienda siguiendo las normas de croquizado.

columna-bóveda, mientras que en la cuarta y última fase, se muestra el conjunto con la idea de superficie.

Especialmente útil se muestra el CAD a la hora de hacer una distribución en planta (figura 34).

Otra de las posibilidades que brinda el CAD son las vistas isométricas en donde el sistema tiene noción de volumen. En la figura 35 se ve la vista de una casa y la misma sin el tejado.



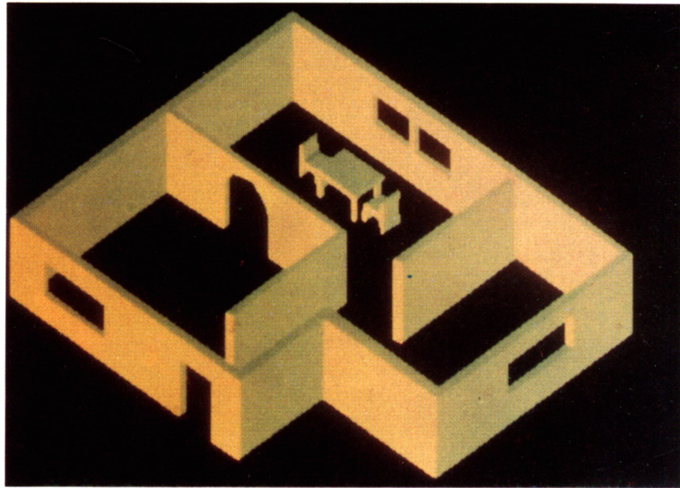


Figura 35. Vista isométrica de una vivienda cubierta y sin el tejado, para observar su interior.

Con los ejemplos expuestos, el lector habrá terminado de ver la ayuda gráfica que brinda el CAD. Pero también existen ventajas en otros aspectos del diseño, como por ejemplo:

a) Coherencia de la información, ya que la base de datos es única.

b) La visualización que brinda la pantalla en forma iterativa es de gran ayuda al arquitecto a la hora de diseñar y decidir.

c) En procesos no automáticos, que necesitan un procesado posterior, se aprovecha la definición geométrica del diseño inicial.

Estos procesos se refieren generalmente a aspectos concretos de la edificación (estructuras, instalaciones eléctricas, de agua, etc.).

Base de datos

La base de datos para arquitectura debe estructurarse según los precios unitarios de obra. Esto facilita el entendimiento entre todos los que participan en el proceso de construcción.

Los precios unitarios suelen estar referidos a:

Ud = unidades

ml = metros lineales

m^2 = metros cuadrados

m^3 = metros cúbicos

Además, cada código deberá contener los siguientes tipos de datos:

a) Datos geométricos esquemáticos que, aunque no sean los definitivos, inicialmente servirán para poder hacer primeras aproximaciones.

b) Datos geométricos reales. Será la definición paramétrica del código resultando un sólido representante en 3 dimensiones.

c) Datos físicos. Suelen estar referidos de un lado, a color, textura, tramado, etc. Y de otro lado, al peso específico, coeficiente de transmisión térmica, coeficiente de dilatación, etc.

d) Datos de gestión. Este apartado debe contener todos aquellos datos necesarios para la correcta presupuestación del proyecto.

e) Datos de organización. Con ellos, basados en cualquiera de los métodos conocidos, como PERT, ROY, CPM, etc.,

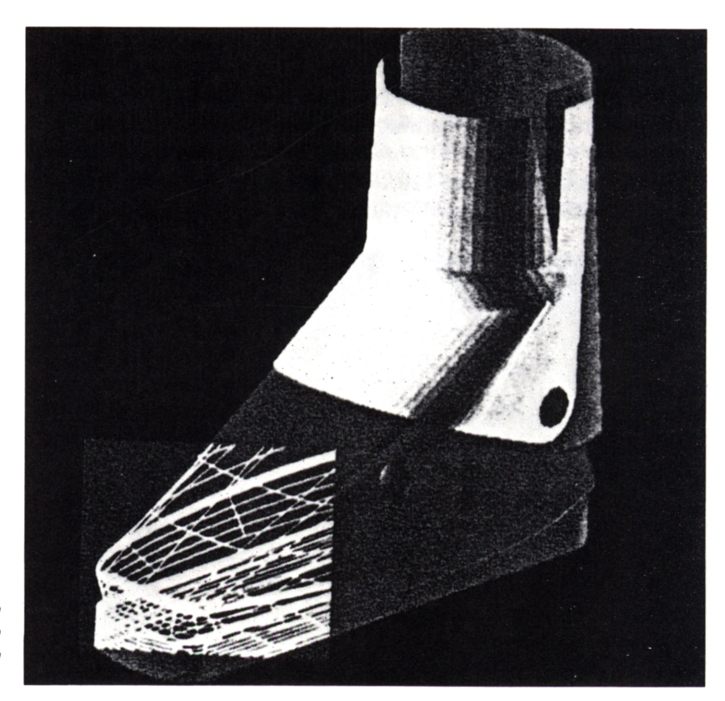


Figura 36. Imagen sombreada de una bota de esquiar, realizada mediante computador.

deberá ser posible crear una programación y la realización del proyecto.

f) Datos jurídicos. Son los relativos a la descripción del

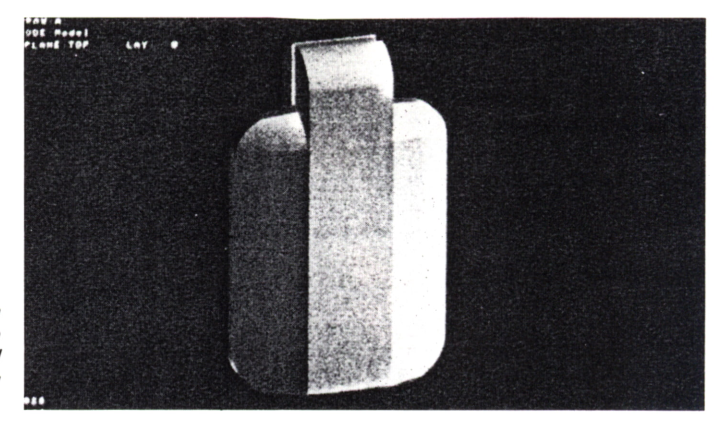


Figura 37. Imagen sombreada de un frasco de colonia, empleando el computador para su diseño.

pliego de condiciones técnicas, incluyen descripción de la operación, forma de mediciones y causas de rechazo.

Diseño industrial

Para finalizar con las aplicaciones del CAD/CAM se incluye el diseño industrial en forma genérica. Son múltiples las realizaciones que se hacen en el diseño industrial. Se podría decir que cualquier diseño que no pertenezca a un

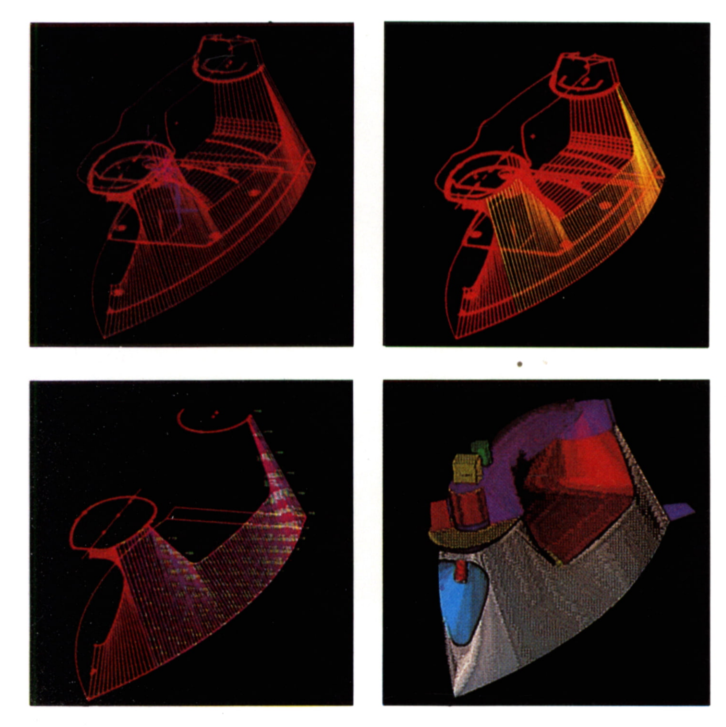


Figura 38. Varios pasos intermedios en el diseño de una plancha eléctrica. (Cortesía: Calma).

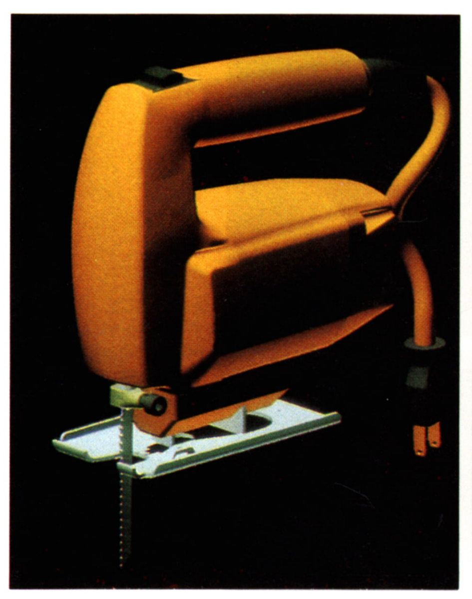
campo específico es diseño industrial. Así, por ejemplo, desde el diseño de un sillón, frasco de colonia, bota de esquí, o un útil de cocina, entra dentro de este campo tan abierto. Las figuras 36 y 37 son algunos ejemplos de este tipo de actividad.

El diseño industrial busca aproximar el producto al usuario, haciendo que tenga una mayor aceptación porque

se adapta mejor a las necesidades físicas, culturales o sociales.

Para la obtención de un nuevo diseño, se sigue una metodología que intenta recoger todos aquellos factores que puedan influir en la concepción del modelo. En este aspecto cada diseñador tendrá su método.

A partir de un modelo concebido, el diseñador, valiéndose de las posibilidades gráficas del CAD, podrá efectuar su diseño.



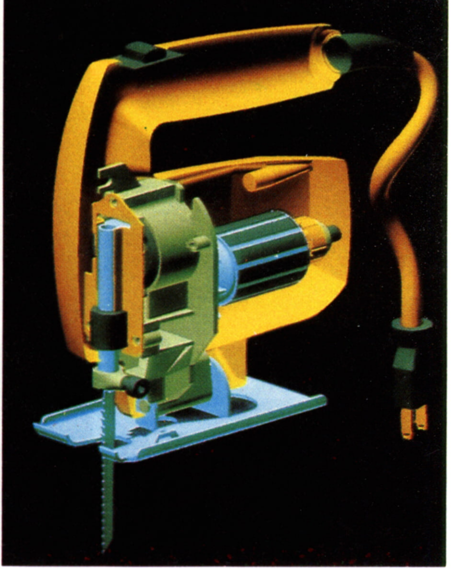


Figura 39. Dos aspectos que presenta el diseño de una máquina eléctrica de cortar. (Cortesía: Computervisión).

A continuación se pueden visualizar algunos diseños, en la figura 38 se pueden ver algunos pasos intermedios del diseño de una plancha. En la figura 39 se aprecia el gran realismo del diseño de una sierra vertical. Y en la figura 40 se muestra el diseño de una máquina de afeitar.

FABRICACION ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAM)

De igual forma que se hizo en la parte de CAD, una

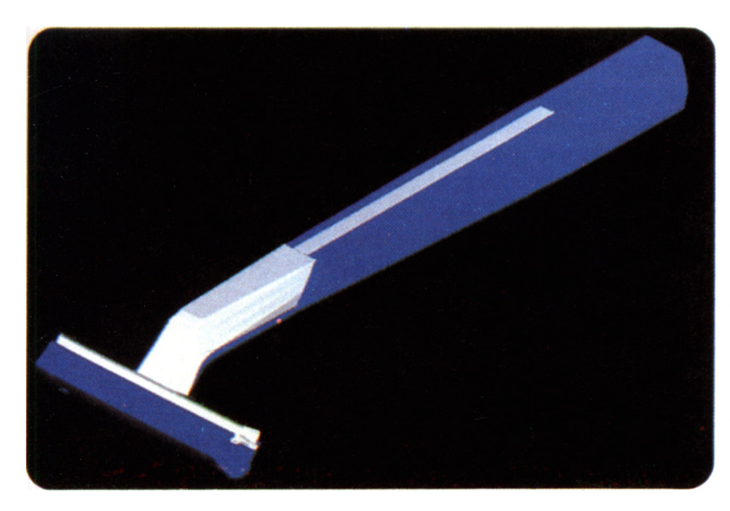


Figura 40. Aspecto final que presenta el diseño de una maquinilla de afeitar manual.

primera forma de definir el CAM (Computer Aided Manufacturing), es traducir sus siglas: *fabricación asistida por computador.*

Para familiarizarse rápidamente con esta nueva tecnolo-

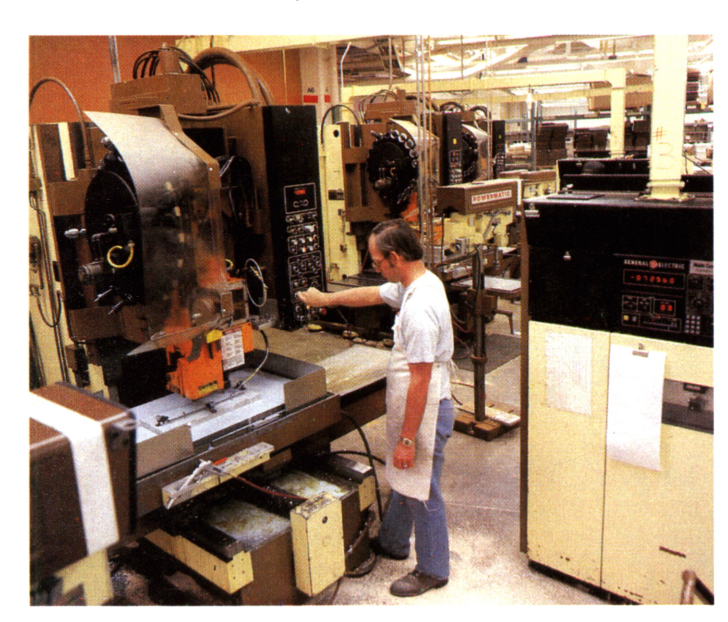


Figura 41. Máquina de control numérico (CN). (Cortesía: General Electric).

gía, donde más fácilmentte se ve su aplicación es en la industria mecánica en general, además, este tipo de industria fue una de las primeras en incorporar los computadores a la

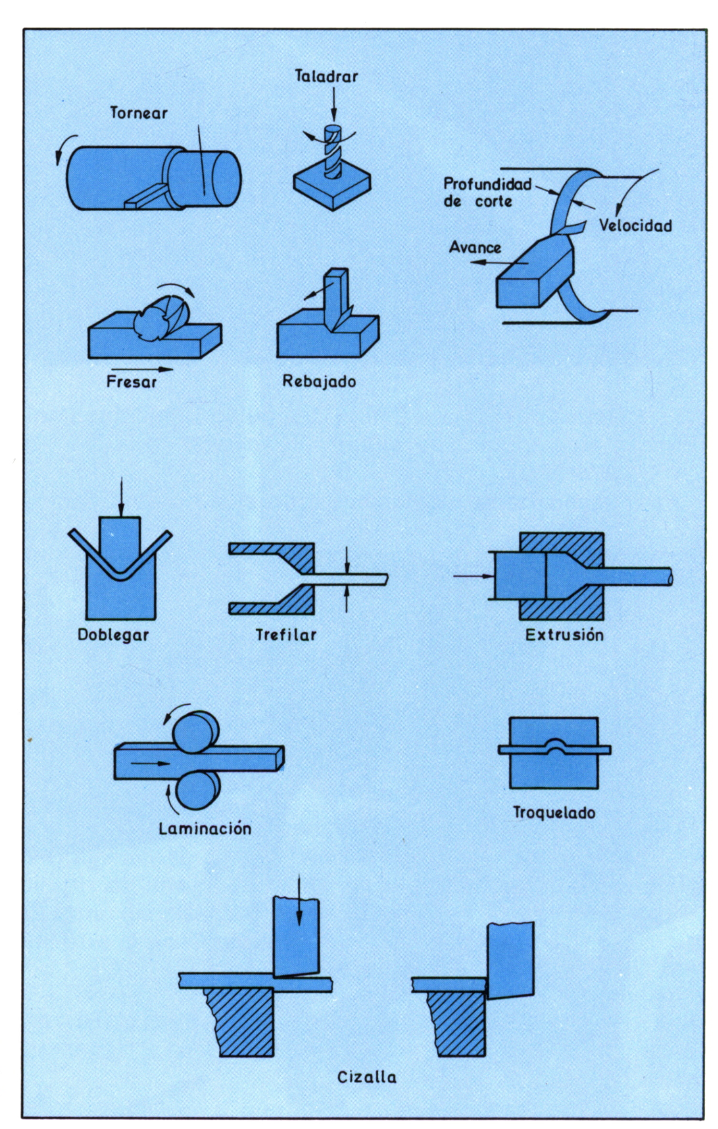


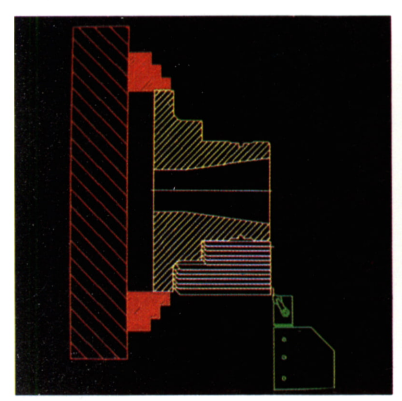
Figura 42. Procesos básicos de mecanizado que se efectúan con máquinas herramientas.

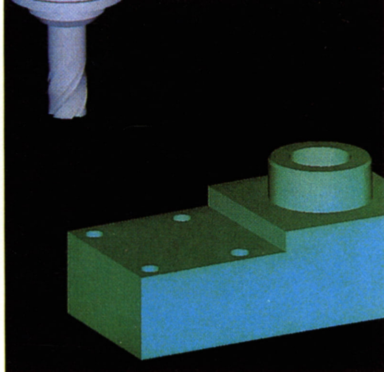
fabricación. A continuación se explicará la mínima expresión de un sistema CAM: la máquina de Control Numérico (CN).

Para entender su funcionamiento, bastará imaginarse una máquina que tiene la posibilidad de realizar los cuatro procesos básico de mecanizado (taladrar, tornear, fresar y rebajado), figura 42, y que es gobernada por un computador. Así pues, cualquiera que sea la geometría final de una pieza, será cuestión de elegir adecuadamente el proceso de mecanizado y programar la máquina de control numérico, con posibilidad de intercambiar distintas herramientas.

Ahora ya podemos ver la interconexión directa que existe entre el CAD y CAM.

Es decir, mediante un sistema CAD, se obtiene el diseño de la pieza así como los planos que la representan. Otra gran posibilidad que ofrece el sistema CAD al operador, es poder simular en la pantalla el procedimiento a seguir en el mecanizado, con lo cual podrá ir verificando, efectuar correcciones, volver a comprobar y así sucesivamente hasta obtener el resultado deseado (en la figura 43 se muestra esta simulación).





Por último, todo esto habrá servido para poder programar correctamente la máquina de Control Numérico, y para que posteriormente se pueda realizar en forma automática la pieza. En la figura 44 se ve una máquina de Control Numérico que está realizando el diseño que aparece en la pantalla gráfica.

Figura 43. Simulación de las operaciones mecánicas de torneado y fresado mediante la pantalla gráfica del computador. (Cortesía: Computervisión).

Elementos hardware del CAM

Un sistema CAM consta de los siguientes elementos:
1) Máquina herramienta (CN).
2) Robots.
3) Transporte Automático.
4) Alimentadores
5) Almacén automático.

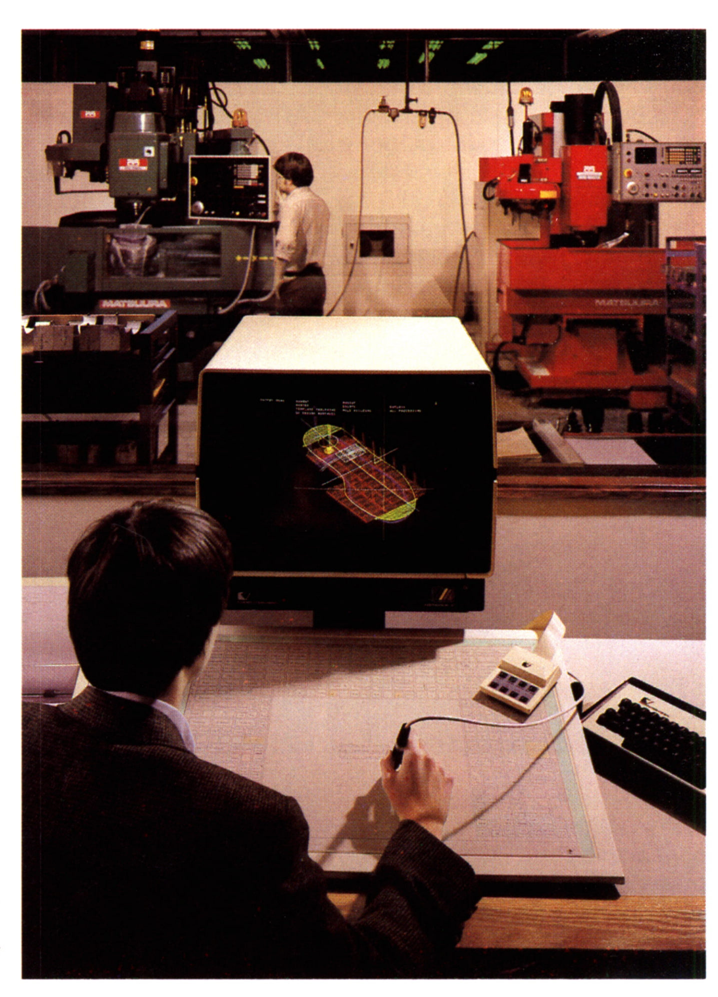


Figura 44. Interconexión CAD/CAM en un supuesto práctico. (Cortesía: Computervisión).

6) Inspección automática.

En la figura 45 se ha esquematizado estos elementos.

Máquina herramienta

El lector se habrá hecho ya una idea de lo que son las máquinas de CN. Su utilización indudablemente incrementa la producción y disminuye los tiempos muertos.

Robots

Son elementos que realizan tareas o de soporte a las máquinas de CN o bien trabajos propios, como por ejemplo soldadura, pintura, ensamblajes, etc. En las figuras 46 y 47 pueden verse estas dos tareas.

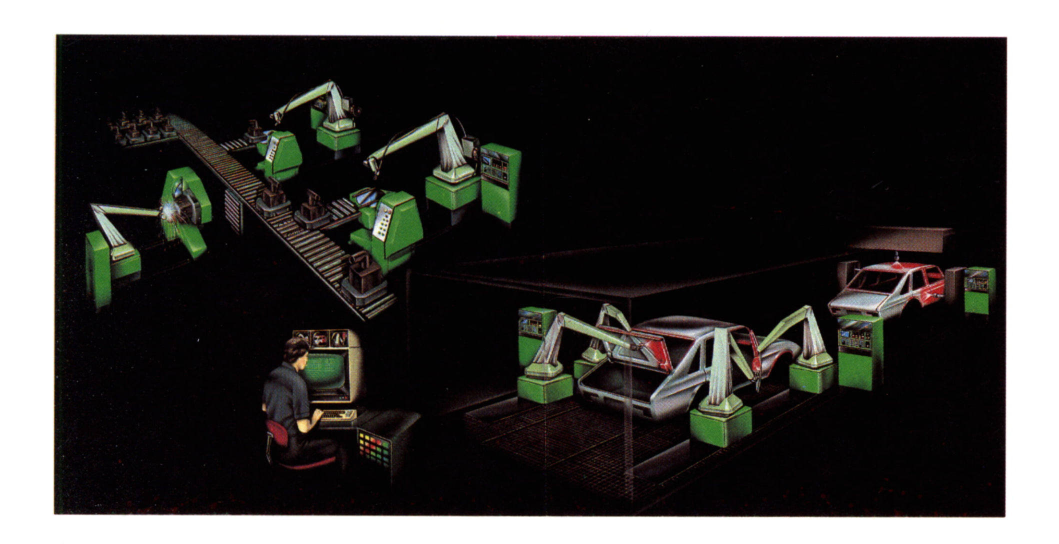


Figura 45. Elementos hardware de CAM, aplicados a una cadena de fabricación flexible. (Cortesía: Trallfa).

Transporte automático

Imagínese una gran fábrica en la que el desplazamiento entre puntos extremos es considerable y si a ello añadimos el trasiego de un volumen considerable, de piezas y componentes que van de un lugar a otro, no se tarda en ver lo importante que es automatizar este transporte.

Existen comercializados distintos sistemas de guiado de vehículos que resuelven este problema.

En la figura 48 se muestra un tipo de transporte automático utilizado con éxito.

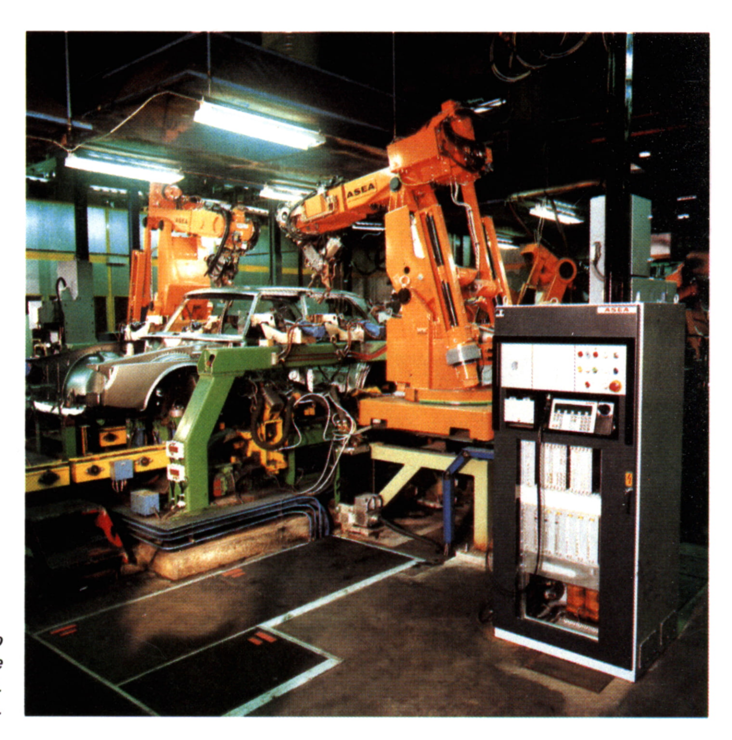


Figura 46. Robot dando soporte a una máquina de control numérico. (Cortesía: Asea).

Alimentadores

Entiéndase como todo aquello que será necesario para poder fabricar la pieza. Entre ellos incluimos gas, agua, vapor, aire, así como la materia prima, tornillos y un largo etc.

Almacén automático

Supuesta una fábrica donde el número de componentes básicos es grande y se ha de mantener un volumen elevado de stock, el disponer de un orden es una necesidad. Los

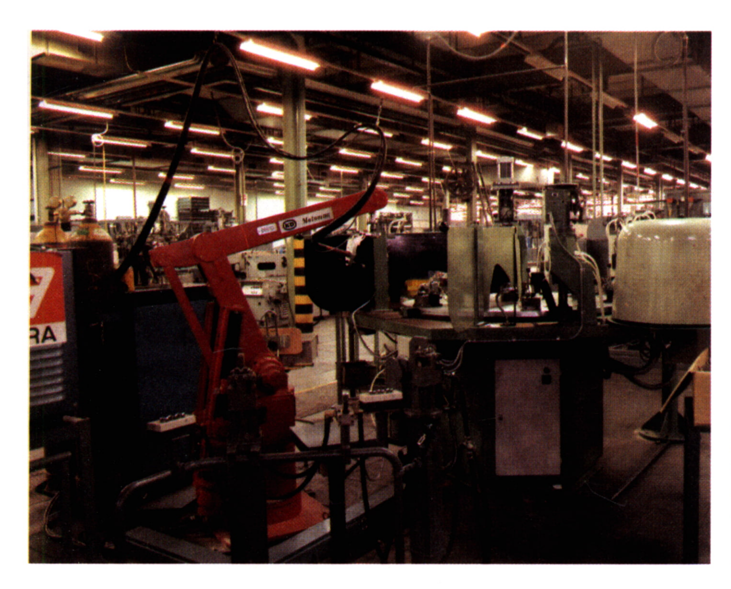


Figura 47. Aplicación de un robot angular realizando un trabajo específico de microsoldadura por plasma. (Cortesía: Unidad Hermética).

sistemas de almacenaje han evolucionado mucho, pero el gran paso se ha dado con la automatización. En la figura 49 se muestra una vista de un almacén automatizado.



Figura 48. Transporte automático de componentes que intervienen en un proceso seriado de fabricación.

Inspección automática

Se refiere al control de calidad que deben sufrir todas las piezas una vez terminado el proceso de fabricación. Esta

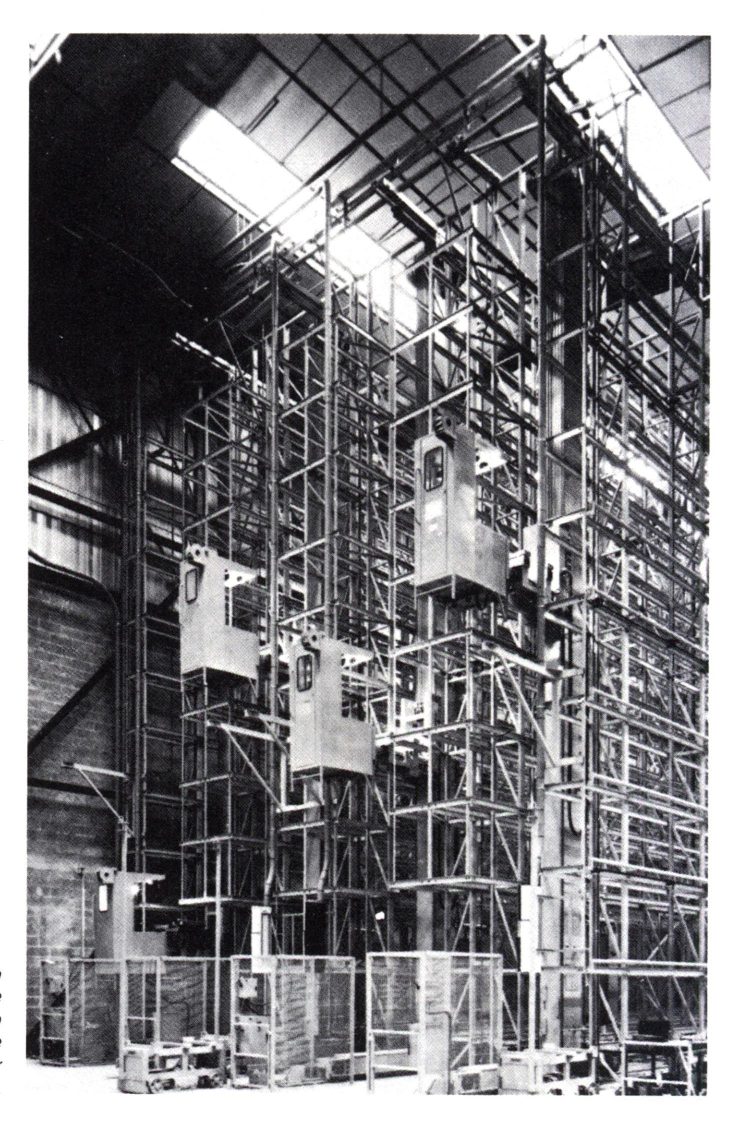


Figura 49. Almacén automatizado, en el que tiene lugar el guiado computarizado de vehículos por el interior de la fábrica.

verificación automática, junto con la adquisicón de datos y una potente red de computadores, puede conseguir no sólo detectar los fallos actuales, sino también su tendencia. De esta forma pueden ser corregidos, obteniéndose una mejor calidad del producto a la vez que un mínimo coste.

La verificación automática puede verse desde el sistema CAD, en el que se generan las pruebas a efectuar y se indica cómo tratar los resultados.

Después de haber definido los elementos básicos del CAM y la posibilidad de integración CAD/CAM, el lector se ha familiarizado con la fábrica del futuro, que efectivamente sería una fábrica donde todo estaría automatizado y la intervención del factor humano sería mínima.

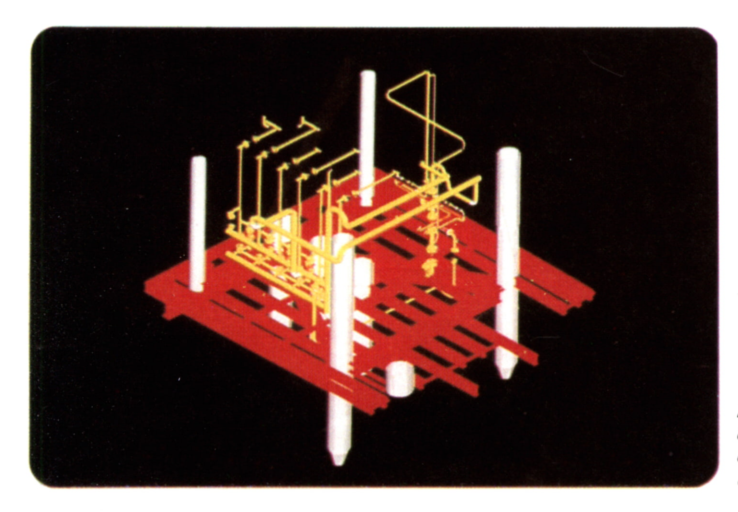


Figura 50. Conjunto de elementos que intervienen en el diseño mediante computador.

Esto se ha logrado ya a pequeña escala, por ejemplo en el Japón existe una empresa de relojería que tiene completamente automatizada las secciones de corte y fresado, las cuales funcionan 24 horas al día sin operarios (salvo el personal de vigilancia). En la sección de montaje se ensamblan de forma totalmente automática los relojes y al final de la línea se encuentran sistemas automáticos de inspección y ajuste de precisión.

Existen otros ejemplos, como la empresa Hewlett Packart

que automatizó su fabricación de placas de circuito impreso; etc.

FABRICA AUTOMATICA

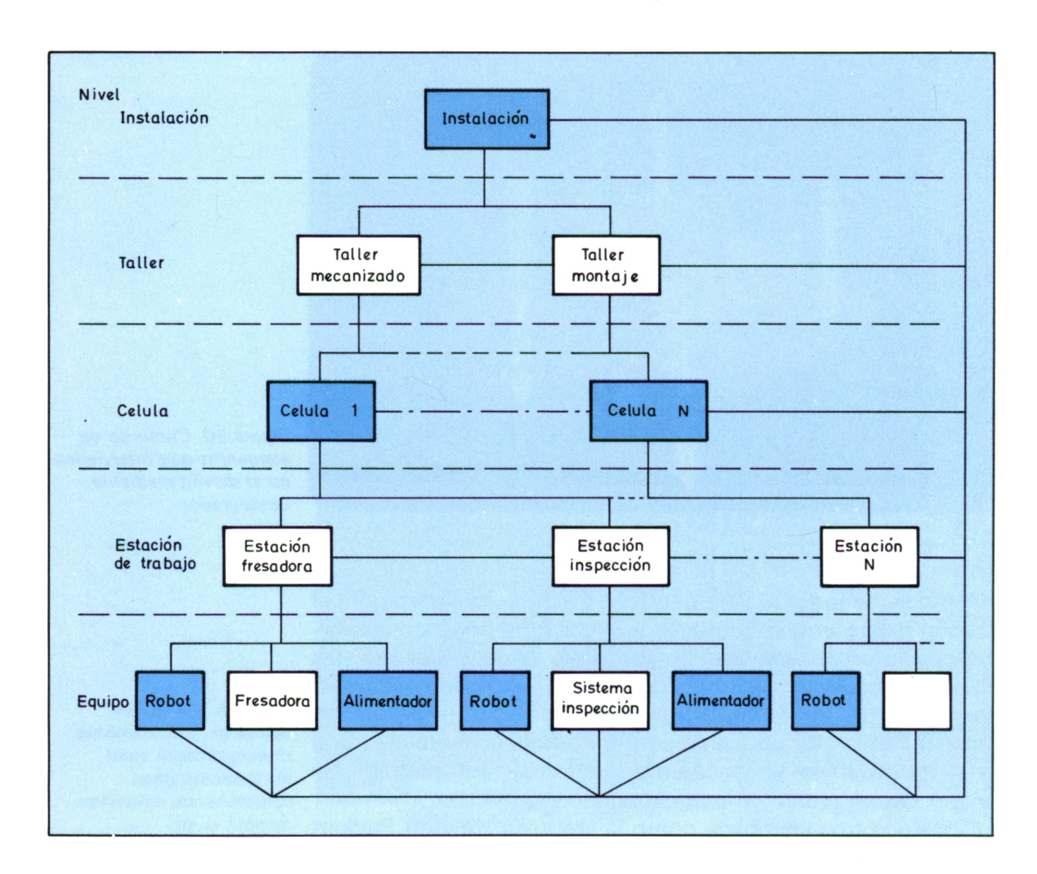
La constitución de una fábrica automática tiene un orden jerárquico en el que cada estadio tiene encomendadas unas muy concretas tareas. En la figura 51 pueden verse estos niveles.

A continuación se explican los cometidos de cada nivel.

Figura 51. Orden jerárquico de una fábrica de trabajo automatizado.

Instalación

A este nivel se realiza la gestión de la información, la



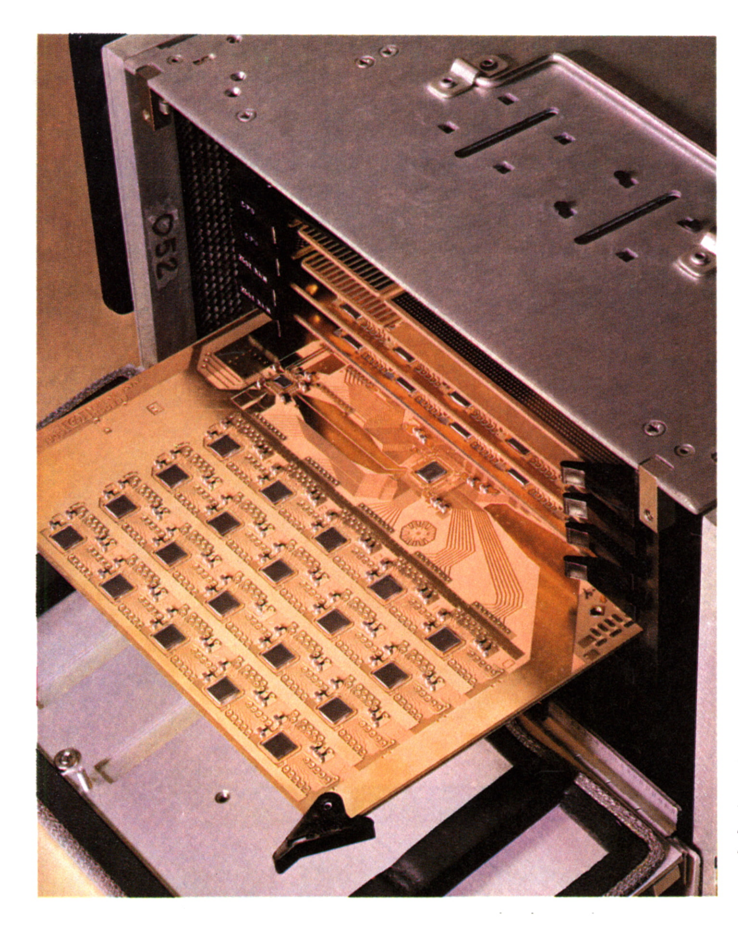


Figura 52. Los diseños de circuitos impresos mediante computador, permite que se pueda modificar sobre pedido cualquier tipo de equipo electrónico.

ingeniería de fabricación, así como la gestión de la producción.

Taller

Aquí se planifican los trabajos que se van a realizar y se asignan a los trabajos los recursos de que se dispone.

Célula

Una vez asignada la tarea a una célula en concreto, en ésta se analiza el trabajo y se programa, pasando a la estación de trabajo específico.

Estación de trabajo

A este nivel se distribuyen las piezas a los diferentes equipos de la estación.

Equipos

Es aquí donde físicamente tiene lugar el proceso de fabricación (mecanizado, torneado, etc.). Este nivel lo componen los elementos básicos del CAM ya descritos anteriormente.

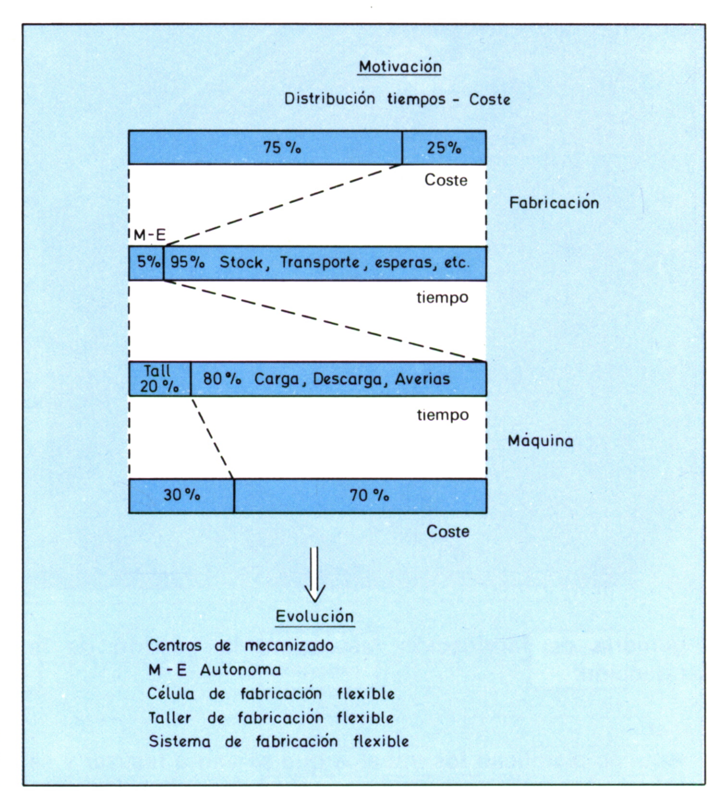


Figura 53. Estudio coste/tiempo en la fabricación.

MOTIVACION DEL CAM

Los motivos que inducen a la investigación en el campo del CAM son diversos, y quizá los principales sean la

productividad y competitividad de los productos obtenidos por este sistema.

Si se realiza un estudio del proceso de fabricación de un componente cualquiera, donde se refleje el peso del coste, que tiene cada etapa de fabricación, se ponen de manifiesto los puntos donde se pueden lograr una mejora. Véase la figura 53.



Figura 54. La comprobación de las máscaras que forman los circuitos impresos o los circuitos integrados puede hacerse manualmente o mediante computadores.

De un componente en proceso de fabricación, podemos decir que un 25 % es el coste de las materias primas y un 75 % será el coste debido al proceso de manipulado.

En este proceso de fabricación el tiempo se distribuye tal como se indica en la figura. El 5 % será tiempo de máquina herramienta y el 95 % de tiempo restante se consume en transporte, almacenamiento, esperas, etc.

Profundizando más en el tiempo de máquina herramienta, el 20 % de este tipo se dedica a las funciones básicas de fresado, taladrado, torneado, etc. y durante el 80 % restante de este tiempo, los componentes se están cargando, descargando o existen averías.

Así pues, la evolución del CAM en un principio fue conseguir de una parte:

1) Centros de mecanizado.
2) Máquinas herramientas autónomas.
3) Talleres de Fabricación Flexible.
4) Sistemas de Fabricación Flexible.

Y de otra parte mejorar los apartados de carga-descarga, esperas, etc.

Buscando la máxima competitividad

En la búsqueda de la máxima productividad de una fábrica, se han desarrollado lo que se ha dado en llamar Tecnología de Grupos (TG) y Elaboración de Gamas (EG).



Figura 55. Diseño de elementos mecánicos mediante computador. (Cortesía: Calma).

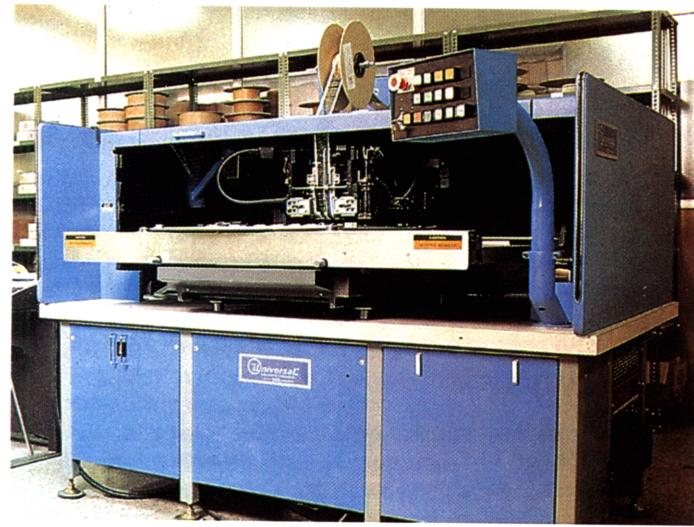
En la fabricación de un componente que conste de varias piezas, la diferencia que puede existir entre ellas es más aparente que real. Según la tecnología de grupos, siempre se podrán clasificar las distintas piezas por su semejanza geométrica, para las cuales pueden existir un proceso típico de fabricación, lo que permite el beneficio de hacerlo en serie.

La elaboración de gamas es al departamento de métodos lo que el CAD es a la oficina de estudios. Si esto se asocia a la Tecnología de Grupos, que conoce las diferentes etapas para producir una pieza y el estado de la misma en cada etapa, la elaboración de gamas proporcionará la solución

óptima cuando se desee introducir un nuevo componente en la fabricación.



Dada la evolución de la memoria de los equipos informáticos, están apareciendo también programas de CAD/CAM para computadores personales. (Cortesía: Commodore).



Máquina de insertar componentes electrónicos integrada en un sistema CAM. (Cortesía: Fagor).

En el Modelo Regenerativo se crea un proceso propio a cada pieza partiendo de un modelo geométrico en memoria.

Pero aparte de la TG y EG, una fábrica automática debe incorporar un sistema que gestione los pedidos, planifique la fabricación, gestione los stocks, etc., lo cual, aunque es teóricamente posible, el gran número de variables que intervienen y la complejidad de las técnicas relativas (técnica de filas de espera, programación lineal multivariable) lo hacen casi inviable.

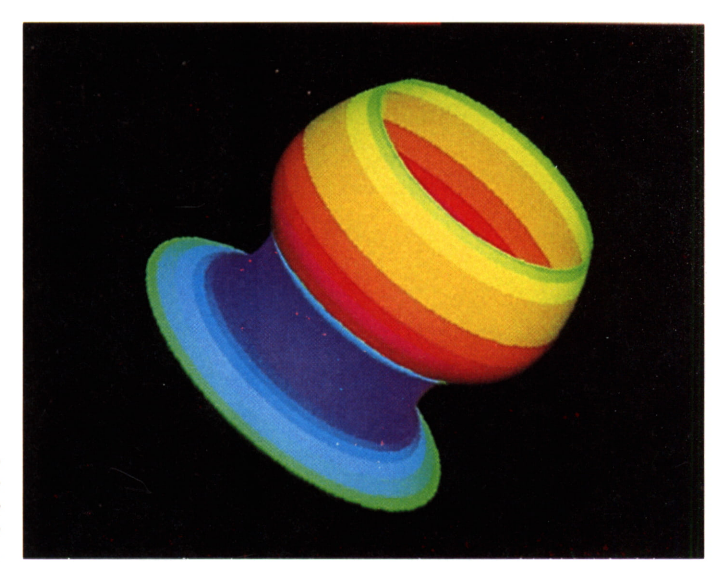


Figura 57. Método computerizado para la observacioón y análisis de diferentes modelos de figuras de revolución.

A pesar de las dificultades se han obtenido aproximaciones notables, y parece razonable aspirar a una productividad máxima.

DIFICULTADES DE IMPLANTACION DEL CAM

El lector se ha introducido ya en las posibilidades que brinda el CAD/CAM mediante el ejemplo de mecanizado de piezas. Pero el mecanizado es sólo un pequeño porcentaje del proceso completo de fabricación, pues hay multitud de

aspectos, tales como fundición, extrusión, moldeado, etc., que tienen un peso importante dentro de la fabricación. Todas estas actividades pueden llegar a automatizarse, pues técnicamente es posible.

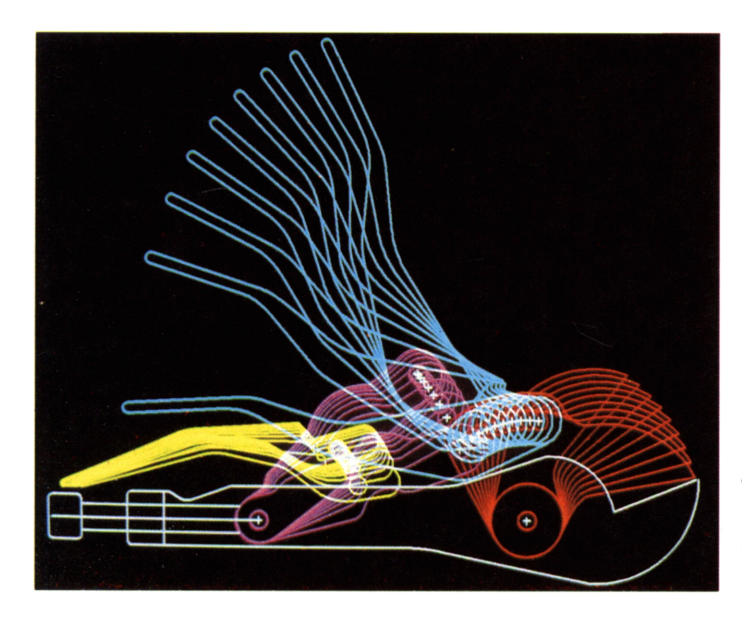


Figura 58. La animación que es capaz de presentar un computador en la pantalla, permite verificar el comportamiento de un útil diseñado para moverse o desplazarse. (Cortesía: Computervisión).

Cabría preguntarse entonces por qué no abundan más fábricas del futuro. La razón es de carácter técnico, pero no reside en la dificultad, sino en la normalización de los elementos que componen el CAD/CAM. Es decir, existen problemas de compatibilidad, pues cada fabricante hace su sistema sin prever la comunicación con otros equipos, con lo que surgen tres principales problemas:

1) Computador y periférico no se entienden.
2) Los programas sólo son entendidos por los computadores en los que se han hecho.
3) Queda por resolver la normalización en los protocolos de las redes locales, etc.

Aparte de estas dificultades, también existen otras de tipo económico, como son:

a) Las fuertes inversiones iniciales.
b) Se ha de disponer de recambios de máquina o robots, imprescindibles para no parar la producción.
c) Cursos de formación y reciclaje del personal, etc.

APORTACIONES DEL CAD/CAM

Con independencia del equipo que utilicemos existen ventajas en todos los órdenes al aplicar un sistema CAD/CAM.

Una primera ventaja es la informatización de la información, ya se sabe los beneficios que esto comporta. Hay que destacar si cabe que la ausencia de prototipos es la ventaja de más peso.

En un diseño convencional, el ingeniero idea una pieza, la dibuja, analiza y elige la forma más conveniente para su realización. Al final de este proceso obtiene un producto que deberá verificar, someter a prueba y ensayos y, en función de los resultados, efectuar las correcciones en el diseño original para obtener otro prototipo que deberá volver a someter a pruebas, ensayos, etc., y así sucesivamente hasta que obtenga un producto que satisfaga las especificaciones.

En un sistema CAD/CAM el diseñador no gozará sólo de la rapidez de diseño, ayudado por las posibilidades gráficas, sino que sin construir un prototipo podrá probar y ensayar su diseño gracias a la posibilidad de simulación. Así por ejemplo, se podrá comprobar el funcionamiento de un circuito integrado, hacer chocar un automóvil a distintas velocidades, someter a distintos esfuerzos una determinada pieza, y todo ello sin la necesidad física de construirlo. De esta forma, aunque el producto final se habrá de verificar, se aproxima mucho al óptimo.

Como consecuencia de estas ventajas aparecen unas enormes mejoras en:

a) *Productividad*, se ha reducido sustancialmente el tiempo de diseño.

b) *Transmisión de información*, es rápida y fiable por encontrarse en un computador y no sobre una infinidad de planos.

c) *Reducción de errores* debido a una información mejor y más centralizada.

